

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

4 平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22700175
 研究課題名（和文）
 網膜の順応機構を模倣した感度・空間特性順応型集積視覚センサ
 研究課題名（英文）
 A retinomorph integrated vision sensor with adaptive sensitivity and spatial filtering
 研究代表者
 奥野 弘嗣 (OKUNO HIROTSUGU)
 大阪大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：30531587

研究成果の概要（和文）：生体網膜が持つ優れたコーディング・順応戦略を備えた視覚センサシステムを開発した。本システムは、光強度－出力電圧特性を変更できる光センサ、抵抗回路網、FPGA（field-programmable gate array）から構成される。光センサのリセット端子に加える電圧波形を変化させることで、複数の対数変換特性を実現した。この対数変換特性は、出力画像のエントロピーを最大化するように調整される。また、本システムは局所平均減算を行うため、出力画像は空間的コントラスト画像となり、この画像もエントロピーが最大化されるようにゲインが調整される。本システムは、大きな照明環境変化の下でも適切に画像取得を行った。

研究成果の概要（英文）：We designed and implemented an image sensor system equipped with three bio-inspired coding and adaptation strategies. The system includes a field-programmable gate array (FPGA), a resistive network, and photosensors, whose light intensity-voltage characteristics are controllable. The system employs multiple time-varying reset voltage signals for photosensors in order to realize multiple logarithmic intensity-voltage characteristics, which are controlled so that the entropy of the output image is maximized. The system also employs local average subtraction and gain control in order to obtain images with an appropriate contrast. The designed system was successfully used to obtain appropriate images of objects that were subjected to large changes in illumination.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：電子工学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：イメージセンサ、神経模倣、効率的符号化、順応、対数応答

1. 研究開始当初の背景

我々ヒトをとりまく光の強度は、月明かりから直射日光まで7オーダー以上ものレンジにわたって実に幅広く変化する。このため、

ヒトと同様の自然環境での動作を意図する視覚センサは、照明環境変化に時々刻々と順応し、出力電圧域を適切に利用して視野内の光強度分布を効率よく符号化できることが

求められる。

上記の点に関して、生体網膜には三つの優れた戦略を見出すことができる。一つ目は、視細胞における光強度から出力電圧への対数的変換特性である。この変換特性は、周囲の光強度に従って適応的に調整される。対数変換では、明るい領域での出力が強く圧縮されるため、ダイナミックレンジの拡大とともに、明るい領域における情報の冗長性が大きく削減されるという利点がある。

二つ目は、平均的な明るさ成分（主に背景照明の強さに起因する）の除去である。これは、細胞同士の電気的結合で形成されたネットワークによって得られる局所平均を減算する事によって実現されている。これにより、照明強度に依存せずコントラストを取得することができる。

三つ目は、細胞の出力電圧域全体を均等な頻度で利用するよう制御された可変ゲインである。情報理論によると、均等な頻度で情報が利用されるときに情報量は最大化されるため、このようなゲイン制御を行っている網膜の二次細胞は、最大の効率で視覚情報を後段へ送るよう制御されているとみることが出来る。

上記三つの戦略の統合的な利用は、昆虫から哺乳類に至る多種多様な生体で共通に利用されているのではないかと示唆されているが、これら全てを統合的に活用したセンサはこれまで開発されていない。これらを統合することにより、生体の眼の様にロバストな視覚センサが実現できることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、網膜の用いている3つの戦略を統合することにより、照明環境に依存せず最適なコントラスト情報を提供する視覚センサシステムを開発することである。また、ロボットビジョンへの応用を考え、小型かつ低消費電力なシステムの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) エントロピーに基づいた対数特性順応

本研究では、フロントエンドにAPS (active pixel sensor) を用い、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-電圧変換特性を制御した。リセット端子に印加する電圧波形による特性制御は、先行研究によって報告されている (Decker et al. 1998, Shimonomura et al. 2011)。この手法により、光強度情報は、対数的圧縮を受けたうえで電圧情報に変換される。

時々刻々と変化する視覚環境に対して順応するためには、この圧縮率を適切に定める戦略が必要となる。本研究では、出力画像のエントロピーを評価基準とし、これを最大化

するように圧縮率を制御した。

画像エントロピーは、画素値のヒストグラム（画素値を一定幅のbinに区切り、各bin内の値を持った画素の数をプロットしたもの）から計算される。画像エントロピーを最大化する圧縮係数を探すためには、圧縮係数が変化した場合にどのように画像エントロピーが変化するかを予測する必要がある。圧縮係数を上げた場合、及び下げた場合の予測画素値は、現在の画素値を利用して容易に求められるため、この予測画素値を利用して予測エントロピーを計算し、エントロピーが増大する方向へと圧縮係数を制御した。

(2) 順応型視覚システムモデルの考案

生体の視覚神経系で重要な役割を担っている3つの機能を含む、順応型視覚センサのためのモデルを考案した。図1は、モデルのブロック図である。本モデルに従ってシステムの構築を行った。

一つ目の機能は、光強度から電圧への対数的変換である。このモデルの photoreceptor は、対数変換に続いて β 倍（前節で述べた圧縮係数に相当する）の増幅を行った上で出力を行う。 β は前節で述べた方法に従って画像のエントロピーが最大となるようにフィードバック制御される。その結果、出力画像は利用可能な電圧幅全体を使って適切に表現される。

二つ目の機能は、局所平均の減算である。この演算の目的は、照明光強度の影響を取り除き、照明条件に依存せず反射率のコントラストを取得する事である。

三つ目の機能は、画像の統計に従ったゲイン G のフィードバック制御である。このゲインは、出力レベル全体が均一な頻度で利用されるように制御される。

上記三つの制御及び演算の結果、出力画像のコントラストは最適化される。

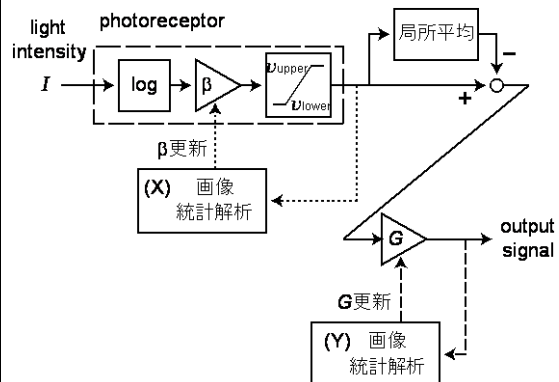


図1: 網膜に学んだコーディング・順応戦略を持ったイメージセンサのモデル。

(3) 抵抗回路網を利用した空間フィルタ

空間的なコントラストを得るためには、適切な空間特性を持った空間バンドパスフィルタが必要となる。逐次的に処理を行う従来のデジタルシステムにとって、このフィルタリング処理は計算コストの高いものとなるため、本研究では、抵抗回路網を活用することにより、この機能を効率的に実現した。

また、フィルタリングの空間特性は、抵抗回路網の抵抗値に依存するため、抵抗値を制御することにより、この空間特性の制御を行った。

4. 研究成果

(1) 順応型視覚センサシステムの実現

図1のモデルに基づき、シリコン網膜とFPGA (field-programmable gate array)を用いて、生体に学んだコーディングと順応戦略を持った視覚センサシステムを構成した。図2に本システムのブロック図を示す。

ここで用いたシリコン網膜は、抵抗回路網とCDS (correlate double sampling)回路、及びAPSを持ったCMOSイメージセンサであり、APSのリセット信号は外部機器から制御することができる。画素数は4096 (64×64)であり、本研究においてフレームレートは30fpsとした。

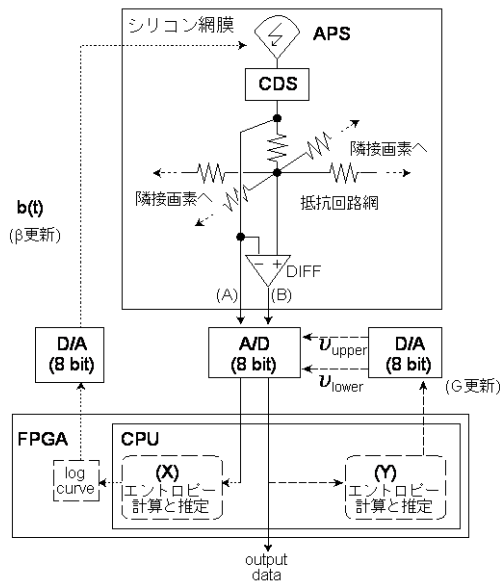


図2：本研究で開発したイメージセンサシステムの構成。点線及び破線で示されているフィードバックループは、図1中の同じ線種で示されているフィードバックループに相当する。また、ブロック(X)(Y)は、図1中の同一の文字で示されたブロックに相当する。

v_{upper} と v_{lower} は、A/D変換の上限電圧と下限電圧をそれぞれ表す。これらの電圧は、CDSからの直接出力(A)と、局所平均減算後の出力(B)に対して別々に設定される。

光強度とともに大きくなる電圧がCDS回路の出力として得られ、この信号は、局所平均を計算する抵抗回路網に注入される。抵抗回路網は、逐次的なデジタル演算では大きな計算量となってしまいう空間フィルタリング処理を、瞬時に行うことができる。シリコン網膜からは、CDS回路の直接出力(図2中(A))と、局所平均を減算した結果(図2中(B))が出力され、A/D変換後にFPGAに送られる。

CDSから直接得られる(A)の信号は、圧縮係数 β を決定するために利用される。図2中の点線で示されたフィードバックループは、図1中の点線で示されたフィードバックループに相当する。ここで決定された β に従い、FPGA内でリセット信号が生成され、D/A変換された後、リセット端子に印加される。

局所平均減算済みの信号(B)は、 v_{upper} と v_{lower} で定められるゲイン G を制御するために用いられる。 v_{upper} と v_{lower} も、 β と同様、画像のエントロピーを評価基準として、これが最大化されるように更新される。図2中の波線で示されたフィードバックループは、図1中の破線で示されたフィードバックループに相当する。

エントロピーの演算や、各種パラメータの更新は、FPGAに組み込まれたCPUによって行われる。

(2) 光強度-出力電圧特性

図3に、対数特性で動作させたシリコン網膜の輝度-電圧特性を示す。網膜チップに幅広い強度の光を提示するため、ハロゲン光源(Tokina KTX-100ES)を用いた。この時、レンズは用いず、チップ表面を直接光にさらした。出力電圧は、輝度の対数値に対して線形に増加しており、 β が小さいほどダイナミックレンジは広がっている。ダイナミックレンジの可変性は、大きな照明環境変化にさらされる物体を撮像する際に利点となる。

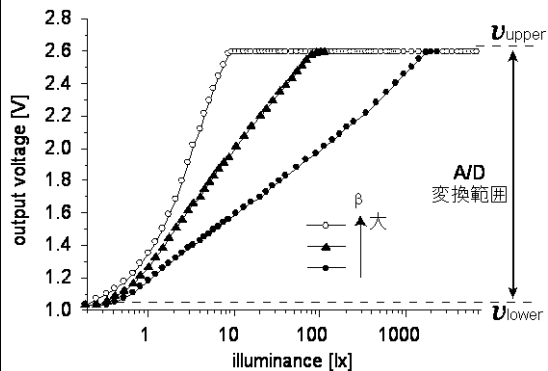


図3：光強度-出力電圧特性。

(3) 出力画像

図4は本システムの出力画像である。二体の人形が、遮光用ボードを挟んで置かれており、左側の人形のみが一定時間ハロゲンランプによって強く照らされる。

ハロゲンランプが点灯した直後、左側の人形が強く照らされ、飽和により左側の人形が確認できなくなっている(図4(b))。しかし、圧縮係数の順応が進むにつれてセンサは飽和状態から復帰し、図4(c)に示すような画像が得られた。この画像では、双方の人形が適切に表現されている。

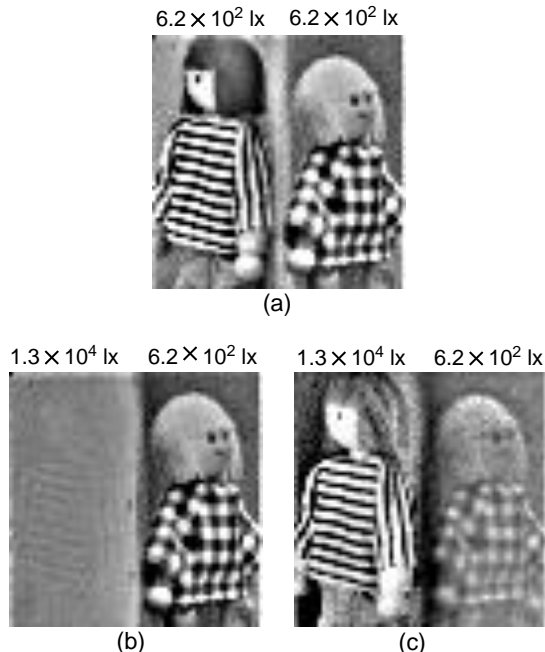


図4：左の人形のみが強く照明を受ける環境での出力画像。(a) 双方の人形が等しく照明を受けている。(b)(c) 左側の人形のみが強い照明を受けている。(b)は順応前の画像、(c)は順応後の画像である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① (査読有) H. Okuno and T. Yagi, "Image sensor system with bio-inspired efficient coding and adaptation," IEEE Transactions on biomedical circuits and systems, in press.

② (査読有) B. Kim, H. Okuno, T. Yagi and M. Lee, "Implementation of visual attention system Using artificial retina chip and bottom-up saliency map model," Lecture Notes in Computer Science, 2011, vol. 7064/2011, pp.416-423.

[学会発表] (計8件)

① (査読無) 奥野弘嗣, 八木哲也, "エントロピー最大化に基づきコントラスト感度を順応させる網膜型視覚センサ," 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012/3/14-16, 町田.

② (査読有) H. Okuno, T. Sanada, J. Hasegawa, T. Yagi, "Real-time emulation of parallel channel responses in the vertebrate retina and the primary visual cortex," Computational Neurosciences 2011, 2011/7/23-28, Stockholm, Sweden.

③ (査読無) 安川真輔, 奥野弘嗣, 八木哲也, "輪郭強調フィルタの順応機能を有する知能視覚センサの開発," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2010/6/13-16, 旭川.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥野 弘嗣 (OKUNO HIROTSUGU)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30531587