

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：32692

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22650046

研究課題名（和文）感性を再現する視覚デバイスの開発

研究課題名（英文）The research on the vision device that reproduce the human sensibilities

研究代表者

黒川 弘章（KUROKAWA HIROAKI）

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・准教授

研究者番号：20308282

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は「感性を再現する視覚デバイスの開発」である。本研究で提案する視覚デバイスは PCNN と呼ばれる視覚野の生体モデルに基づいたモデルを用いて実現される。PCNN による画像処理や、これを実現するためのパラメータ学習法などの提案を通して研究を進め、結果、新しい画像類似度評価システム及びパラメータ学習方法を提案するに至った。また、PCNN を用いた画像処理アルゴリズムを FPGA に実装することにより独立したデバイスとして実現できることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this study is the development of “the vision device that reproduce the human sensibilities”. Our vision device is based on the PCNN that is a kind of the biological model of the visual cortex. We have been proposed the methods of the image processing by the PCNN and the learning algorithms of the PCNN parameters. As a result of our study, we proposed and showed the novel evaluation system of similar images and the parameter learning method. Also, we have implemented an algorithm of the image processing using the PCNN to the FPGA. The result show that the system based on the PCNN can be implemented to the devices using FPGA.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	600,000	0	600,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	450,000	2,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク、感性、視覚、画像

1. 研究開始当初の背景

感性とは人の主観による物理現象に対する評価能力や評価基準と考えられる。「クオリア」と呼ばれる人間の主観的認知も感性と同様の意味を持つと考えて良く、学術的な

意味合いを超えて広く注目を浴びている分野の一つである。

人間の主観による「感性」を工学的に利用するために、これまで、対象となる現象から物理量を測定し、対応する「感性」にマッピング

ングする手法が研究されてきた。感性の中でも視覚から得られる主観は従来から盛んに研究されている。視覚から得られる画像情報の処理は信号処理的なアプローチによる研究が古くから盛んに行なわれており、この発展と位置づけられる研究も多い。

一方、感性には脳科学からのアプローチもある。ここで、感性は一般的に脳の高次機能に位置づけられることが多く、例えば、質感の認知は脳の高次機能と捉えられることも多いが、その一方で、浅いレベル（感覚器に近い神経節）で質感が認知されているという考え方もある。

本研究は視覚系の生体モデルとして Echorn らによって提案された Pulse Coupled Neural Network (PCNN)を用い、画像から得られた情報に対する人間の感性を再現するモデルを提案するものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は「感性を再現する視覚デバイス」を実現することである。本研究では視覚情報による感性情報処理を、生体モデルを用いたアプローチにより実現し、最終的に提案システムをハードウェアに実装する。

本研究では、視覚系の生体モデルとして PCNNを用いる。PCNNは視覚野のモデルであると同時に、これまで画像処理への工学的応用が研究されているモデルである。PCNNを用いた感性情報処理の実現においては、PCNNにおけるパラメータの最適化が大きな問題となるためこの解決がまず始めの課題となる。また、構築したシステムを実際のアプリケーションに適用し評価を行う必要がある。さらに、FPGAを用いてハードウェアへの実装を行う。

3. 研究の方法

本研究を実施するにあたって、「PCNNの数値実験環境の確立」「画像処理問題への適用」「PCNNの学習方法の開発」「PCNNを用いた感性情報処理システムの構築」「ハードウェアへの実装」の5つの段階を設定し進めることにした。以下にそれぞれの段階における具体的な方法を示す。

(1) PCNNの数値実験環境の確立

本研究で提案する「感性を再現する視覚デバイス」は、PCNNをベースに研究を進める。PCNNは Echorn らによって視覚野のモデルとして提案されたモデル(Echorn, R., et al., "Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulations of results from cat visual cortex", Neural Computation, Vol.2, pp.293-307, 1990)であるが、後に多くの研究者によって工学的な応用が示されてきた。多くの工学的応用を目的とした文献に示されるように、PCNNは

数学的に定義されているモデルであるため (Johnson, J.L., Padgett, M.L., "PCNN Models and Applications.IEEE Trans. Neural Network", vol.10, no.3, pp.480-498, 1999)、特に研究の初期段階においては計算機シミュレーションが主な実験手段となる。

PCNNの数値実験環境は、パソコン上に独自にプログラミングしたソフトウェアを用いて構築している。ここで、PCNNのシミュレーションは、一般的な汎用プロセッサを用いた計算を想定しており、パソコン上でのシミュレーションでも十分現実的な時間で解決できる問題であるが、PCNNの非常に高い並列性を考慮して、CUDAを用いたGPGPUにより並列計算を実現し、計算の効率を高める。また、PCNNのパラメータ学習には遺伝的アルゴリズムをベースとした学習法を考えており、学習アルゴリズムの計算に関しても並列化は有効である。

(2) 画像処理問題への適用

本研究課題で「感性を再現する視覚デバイス」が扱う対象は画像である。このため、PCNNによる画像処理問題への適用について、調査、提案を行い、PCNNが画像を扱うための知見を広げることが必要となる。一つの例として、我々は本研究課題の申請以前からカラー画像処理が可能なPCNNの拡張モデルを提案している。先行研究においてPCNNは一般的にカラー画像を扱う事が無いため、色彩などの要素を考慮する必要のある感性の再現には有効な知見である。本研究課題においても我々の提案したPCNNの拡張モデルによる様々なアプリケーションの提案を通してPCNNの画像処理問題への適用に関する知見を広げていくと同時に、従来のPCNNを用いた画像処理に関しても文献調査やアプリケーションの提案を通して知見を蓄えていく。

(3) PCNNの学習方法の開発

そもそもPCNNは生体モデルの一つとして提案されたモデルである。多くの生体モデルがそうであるようにPCNNも多くのパラメータを持つモデルであり、工学的な応用を考える時にはパラメータの多さは不利な特徴であるため、パラメータの決定は重要な研究テーマとなる。

本研究では、パラメータの決定には学習による自己組織化を考えている。PCNNのパラメータの学習法については、我々は過去の研究においてすでに画像の領域分割問題を解決するためのパラメータ学習法を提案している。ここで提案した学習法は遺伝的アルゴリズムをベースとした方法であるが、本研究課題である感性を再現する視覚デバイスの実現に関しても、ここで得られた知見をベ

一スに提案を行なっていく。

(4) PCNN を用いた感性情報処理システムの構築

この段階では感性評価のための指標の決定が重要になる。質感や温度感など人間が画像から受ける主観的要素を挙げ、統合的な指標を提案し、感性評価指標として用いる。この指標に関しては、具体的な提案をしておらず、研究期間を通して人間の感性としての妥当な指標を提案する必要がある。

学習により自己組織化された PCNN は空間的、時間的に広がりを持つ出力を示すが、この出力値から PCNN の反応の強さを計測し、提案した指標と対応付けることにより、PCNN による感性の再現を実現する。

PCNN の反応の強さはニューロンの同期範囲の大きさや発火頻度などから計測することを想定しており、これを用いて感性の再現を実現するための学習の最適化を行なう。この段階での成果は学習法の開発にフィードバックさせ、感性評価のためのさらに最適な学習方法の開発を目指す。

また、この段階で提案するシステムの評価においては、同じ環境で試行した場合の再現性と異なる環境で試行した場合の相違性が評価のキーとなる。評価方法については並行して調査及び実験を進め、いくつかの候補をあげ適宜評価を行なう。

(5) ハードウェアへの実装

ハードウェアへの実装にはプログラムの実装が簡易であり、実際の製品への応用も可能な FPGA を用いる。PCNN を用いたシステムの FPGA への実装は既に先行研究にて多数報告されており、妥当な選択であるといえる。

開発にはザイリンクス社の評価キットを用い、同社から提供されている統合開発環境を用いて開発を行う。このように実際のハードウェアへの実装を示すことは、可搬性のある情報機器への搭載や、独立したデバイスとしての実装の可能性を模索する上で重要である。また、PCNN の並列性を活かすという意味でもハードウェアへの実装は効果的であると考えられる。これらの点について、FPGA を用いたハードウェア実装を通して評価する。

4. 研究成果

ここでは、前節の研究計画に上げた 5 つの段階に沿って研究成果をまとめる。

(1) PCNN の数値実験環境の確立

PCNN を用いたシステムのシミュレーションに用いる数値実験環境の確立については本研究課題が始まる前の準備段階からある程度の進捗があった部分である。

本研究課題での取り組みとしてはシミュレーションプログラムの並列化が主な課題となった。ここで処理対象の画像サイズを 256x256 ピクセルとし、同じサイズの PCNN を用いて画像処理を行った場合の結果を評価すると、GPGPU による並列化で概ね 30 倍程度の計算速度を達成することが可能となった。ここで、シミュレーションに用いた計算機は Core i5 670 (3.47GHz) と GeForce GTX560Ti (384 CUDA core) から構成される計算機であり、Core i5 670 (3.47GHz) だけを用いて計算した場合と比較した。この結果は PCNN の並列性の高さを改めて示唆する結果である。

(2) 画像処理問題への適用

PCNN を用いた画像処理問題への適用については研究期間に多くの成果が得られた。特に PCNN から得られる指標を用いたパターンマッチングや類似画像判定について詳細な特性を調べることが出来た。ここで用いた PCNN から得られる指標は、PCNN における同期発火集団の時系列における変化を表す数値列であり、PCNN の反応の強さを表す指標の一つといえる。結果として、後述する学習法と合わせて、類似画像検索システムへの適用が可能であることを示すことができた。

また、我々は、従来の PCNN では扱うことの出来ないカラー画像を対象とした画像処理について、独自の構造を持つ PCNN の拡張モデルを提案してきたが、これを用いた類似画像判定方法も提案し、色彩情報を考慮できる類似画像検索システムの実現も果たした。

これらのシステムは画像処理の研究において広く用いられる画像データベースを用いて評価されその有効性が示されている。

(3) PCNN の学習方法の開発

我々はこれまでの成果の中で、PCNN の画像領域分割問題への適用に際して、遺伝的アルゴリズムをベースとした学習方法を用いて PCNN のパラメータ決定を行ってきた。この成果を元に、パターンマッチングや画像類似度判定への適用に関しても遺伝的アルゴリズムをベースとした学習方法を提案した。

遺伝的アルゴリズムにおける適合度の計算において基準としたのは人間の感性や画像に対する認知を元にした画像の分類である。どのような基準を用いるかは未だ試行錯誤が必要な段階ではあるが、例えば、画像データベースにおいて同一カテゴリの画像の類似度を高く判定することにより高い値が得られるような適合度を定めることにより、従来の画像特徴量の解析による画像類似度

の判定とは異なる特性を得ることが出来た。

従来の類似画像判定のアルゴリズムでは、画像から計算される画像特徴量を基準として類似度を判断しているため、画像が物理的特徴を超えて持つ意味の類似性を反映することは困難であったが、学習という概念を導入することにより一定の成果を得たと考えられる。

(4) PCNN を用いた感性情報処理システムの構築

(2) 及び (3) の成果を考慮して、情報処理の目的を画像類似度の判定に絞って検討を行った。当初の計画で挙げたような質感や温度感など具体的な感性に直結する指標を定義するところまでは確立できていないが、画像の特徴量を評価する旧来の手法とは異なる、PCNN のパラメータ学習により類似性の基準を獲得する手法を提案し、画像類似度の判定において従来の研究とは異なる視点からの判別を実現する成果が得られた。また、ここで得られた成果を元に、人間の主観的な判断とのより詳細な整合性について評価を進めて行くための足がかりが出来たといえる。

(5) ハードウェアへの実装

FPGA を用いてハードウェアへの PCNN による画像処理システムの実装を行い、システムの評価を行った。開発にはザイリンクス社の評価ボード (ML605, Virtex-6 FPGA) を用い、動作周波数は 200MHz で動作させた。FPGA に実装した PCNN を用いた画像処理のテストでは、ウェブカメラ等でよく用いられる QVGA の解像度画像を用いて行ったところ、4.8M pixels/秒程度の画像処理が可能であった。さらなる最適化の余地はあるものの、PCNN を用いたシステムが実際に回路上で効率よく動作できることが示されており、デバイスへの実装に関しても一定の成果が得られたと言える。

以上に示すように、研究期間を通して (1) ~ (5) の各段階において一定の成果が得られ当初の目的を達成できたと考えている。得られた結果に対する感性デバイスとしての評価が不十分であったことが反省点であるが、同時に今後の課題として重要なポイントであると考えている。

現在は本研究で得られた成果を元に、画像検索サーバの構築を進めている。いわゆる画像内容検索機能を提供するだけでなく、本研究課題の成果である視覚デバイスなどとも連動して動く統合システムの開発も視野に置いており、本研究で得られた成果が現在の研究にも活かされている。

成果発表としては研究期間の中で査読を

経て採録された国際会議での発表が 7 件、国内の研究会での発表が 9 件であった。いずれの発表においても、活発な議論を行うことが出来た。また、国際会議の論文は他の研究者らによる論文に引用されることも多く、これは本研究課題が科研費に採択され、活発な活動が行われたことによる効果が大きい。

最後に、3 年間の研究期間を通して、本研究課題に関わる研究は主に大学院の学生との共同作業によってなされた。成果発表においても学生による発表は多く、このような機会が得られたことは有益であったと考えている。

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)

[学会発表] (計 16 件)

1. Yuta Ishida and Hiroaki Kurokawa, “The image matching using Inhibitory Connected Pulse Coupled Neural Network”, NCSP 2013, March 6, 2013, Kona, USA, 査読有

2. 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network と画像内容検索システムへの応用”, 電子情報通信学会九州支部講演会, 2013 年 2 月 8 日, 大分大学

3. 吉原正裕, 生野壮一郎, 黒川弘章, “FPGA を用いた Inhibitory Connected Pulse Coupled Neural Network のハードウェア実装”, 信学技報 NLP2012-120, pp. 93-98, 2013 年 1 月 24 日, 北海道大学

4. Hiroaki Kurokawa, Masahiro Yoshihara, Yuta Ishida, “The implementation of the Pulse Coupled Neural Network”, NCN2012, pp. 24-26, Dec. 14, 2012, Tokushima, Japan, 査読有

5. 石田祐大, 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network を用いた画像内容検索における計算量の最適化”, 信学技報, NLP2012-65, pp. 49-54, 2012 年 9 月 21 日, 高知県立大学

6. Yuta Ishida, Masato Yonekawa, Hiroaki Kurokawa, “The capacity and the versatility of the Pulse Coupled Neural Network in the image matching”, ICANN2012, LNCS vol. 7552, pp. 223-230, Sept. 14, 2012, Lausanne, Switzerland, 査読有

7. Masato Yonekawa, Kurokawa Hiroaki, “The Content-Based Image Retrieval using the Pulse Coupled Neural Network”, IJCNN 2012,

June.13, 2012, Sydney, Australia, 査読有

8. 米川雅人, 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network を用いた類似画像検索”, 信学技報, NLP2011-151, pp.57-62, 2012年3月28日, 福江文化会館

9. 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network と画像処理への応用”, 電子情報通信学会四国支部講演会, 2011年12月8日, 徳島大学

10. 米川雅人, 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network の時系列発火特性を利用した画像マッチング” 信学技報, NLP2011-38, pp.77-82, 2011年7月1日, 斜里町公民館

11. Masato Yonekawa, Kurokawa Hiroaki, “An Evaluation of the Image Recognition Method Using Pulse Coupled Neural Network”, ICANN 2011, LNCS 6791, pp. 217-224, June 16, 2011, Espoo, Finland, 査読有

12. 吉原正裕, 米川雅人, 黒川弘章, “Inhibitory connected Pulse Coupled Neural Network を用いたカラー画像セグメンテーションにおける入力画像依存性”, 信学技報, vol.110, no.388, NC2010-92, pp.19-24, 2011年1月24日, 北海道大学

13. Hiroaki Kurokawa, Masato Yonekawa, Masahiro Yoshihara, “An effect of inhibitory connections on synchronous firing assembly in the inhibitory connected pulse coupled neural network”, ICONIP2010, LNCS6443, pp.179-187, Nov. 23, 2010, Sydney, Australia, 査読有

14. Masato Yonekawa, Hiroaki Kurokawa, “The parameter optimization of the pulse coupled neural network for the pattern recognition”, ICANN2010, LNCS6254, pp.110-113, Sept.17, 2010, Thessaloniki, Greece, 査読有

15. 米川雅人, 黒川弘章, “Pulse Coupled Neural Network を用いた画像認識のための結合荷重行列の最適化”, 信学技報, vol.110, no.166, NLP2010-77, pp.153-158, 2010年8月3日, 鳴門教育大学

16. 吉原正裕, 米川雅人, 黒川弘章, “Inhibitory Connected Pulse Coupled Neural Network の同期発火集団の形成における抑制性結合の影響”, 信学技法 vol.110, no.82, NLP2010-13, pp.81-86, 2010年6月18日, 琉球大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒川 弘章 (KUROKAWA HIROAKI)
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・准教授
研究者番号：20308282