

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1日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700234

研究課題名（和文）可塑的カオス・ニューロン結合系を用いたポスタリゼーション機能を持つ画像領域分割法

研究課題名（英文）Chaotic Neurons Network with Plastic Couplings for Image Segmentation and Posterization

研究代表者

藤本 憲市（FUJIMOTO KENICHI）

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・助教

研究者番号：20300626

研究成果の概要（和文）：高階調濃淡画像にも適用可能な動的画像領域分割システムの基盤技術を開発することを目的として、可塑的結合を有する離散時間カオス・ニューロン結合系について研究した。非線形力学系理論を用いて提案システムのダイナミクスを解析し、その結果に基づいて提案システムのパラメータをチューニングした。医用画像を用いた数値実験を通して動的画像領域分割システムとしての有効性を例証したとともに、提案システムをグラフィック専用装置へ実装することで処理時間を大幅に短縮できることも示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop basic technologies on a dynamic image-segmentation system that is applicable to high-resolution, continuous-tone images. On the basis of nonlinear dynamical systems theory, we analyzed the dynamics of discrete-time chaotic neurons with plastic couplings. The results suggested appropriate values of system parameters for dynamic image segmentation. The proposed system with tuned parameter values worked for several medical images. Moreover, an implementation of the proposed system into a graphics processing unit yielded faster dynamic image segmentation than that executed in a central processing unit.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：非線形数理工学，医用画像処理

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：動的画像領域分割処理，カオス・ニューロン結合系，可塑的結合，

ポスタリゼーション，振動応答，同期現象，Graphics Processing Unit

1. 研究開始当初の背景

画像中の対象物を抽出するという画像領域分割処理は、医用画像診断支援システムにおける基盤技術である。従来の画像領域分割

法である領域成長法は、一度の処理で一つの画像領域しか抽出できず、さらに、処理時間は画素数の増加に伴って爆発的に増大する。並列処理による高速化が容易であり、かつ、

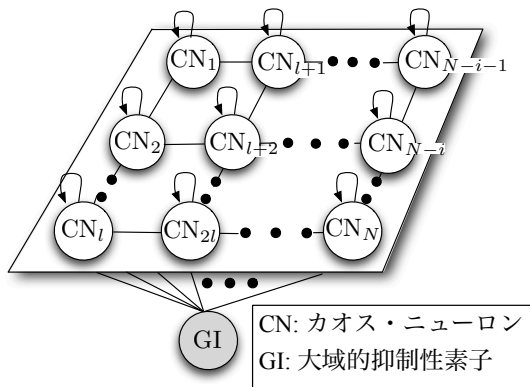


図 1：動的画像領域分割のための離散時間カオス・ニューロン結合系の構造

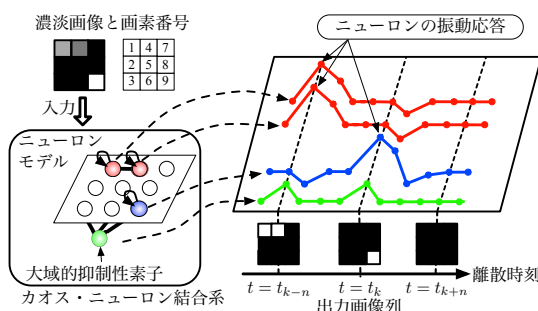


図 2：ニューロンモデルからの振動応答に基づいた動的画像領域分割の模式図

一度の処理で複数画像領域を抽出できる特長を持つ手法として、研究代表者は、カオス・ニューロン結合系（離散時間力学系）の振動応答を利用した動的画像領域分割法を考案している。図 1 に示すとおり、この系は 1 個の大域的抑制性素子と入力画像の画素数と同数のニューロンモデルからなる。1 個のニューロンが 1 画素に対応するように、すべてのニューロンは網目状に配列され、近傍ニューロン同士は結合することができる。なお、大域的抑制性素子はすべてのニューロンと結合する。

このニューロン結合系を用いた動的画像領域分割処理の模式図を図 2 に示す。画像をニューロン結合系に入力すれば、入力画像において類似の画素値を持つ近傍画素に対応したニューロン同士が結合する。ここで、その結合強度は一定値であることに注意されたい。全ニューロンモデルからの振動応答に基づいて画像領域が分割され、分割された画像が時系列で出力される。

これまでに、人工的に作成した低階調濃淡画像に対する数値実験を通じて提案システムの有効性が例証されたものの、高階調濃淡画像に対してはうまく領域分割できない問

題点が明らかとなった。実用的な動的画像領域分割法を開発するためには、この従来システムを改良することでこの問題を解決する必要がある。

2. 研究の目的

濃淡画像の領域分割は、同程度の濃度値（画素値）をもつそれぞれの連結画像領域を抽出する問題に帰着できる。高階調濃淡画像の場合、減階調処理（ポスタリゼーション）が不可欠であり、その処理特性は画像領域分割の成否に直結する。

カオス・ニューロン結合部に可塑性を導入するというアイデアを試行した研究代表者の先行研究結果から、可塑的結合によるポスタリゼーションの実現可能性が示唆された。ニューロン結合部に可塑性を与えることで、高階調濃淡画像に適用できる実用的な動的画像領域分割システムの基礎技術を開発することが本研究の目的である。その達成のために解決すべき具体的な課題は次のとおりである。

- (1) ポスタリゼーションの性能は、可塑的結合システムのダイナミクスに依存する。入力濃淡画像に応じて適切なポスタリゼーション結果が得られるパラメータ値を数値解析により見いだす。
- (2) 動的画像領域分割はニューロンの振動応答に基づいて実現されるため、その性能はカオス・ニューロン結合系のダイナミクスに依存する。減階調画像に対して適切な動的画像領域分割結果を得るためのパラメータ値を数値解析により見いだす。
- (3) 動的画像領域分割処理の高速化を図るため、提案システムをグラフィック処理装置（GPU: Graphics Processing Unit）へ実装する。

3. 研究の方法

前述の研究目的を達成するための研究方法は次のとおりである。

- (1) 可塑結合システムのパラメータ値がポスタリゼーション結果に与える影響を調べるため、少数画素からなる濃淡画像を作成する。パラメータ値を適宜変化させた場合の、ニューロン間の結合強度変化（時系列）とポスタリゼーション結果を詳細に解析することにより、適切なポスタリゼーション結果を得るためのパラメータ値を見いだす。
- (2) 減階調された濃淡画像の入力を仮定し、少数画素からなる低階調濃淡画像を作成する。研究代表者らの先行研究で既に得

られているニューロン振動応答の分岐解析結果から、設定値変更を検討するシステムパラメータを取捨選択する。カオス・ニューロン結合系の動的画像領域分割性能は、ニューロンからの振動応答の同期問題に帰着されることから、検討対象パラメータの値を適宜変化させた場合に観測される振動応答の同期現象を詳細に解析する。その解析結果に基づいて、適切な動的画像領域分割結果を得るためのパラメータ値を見いだす。

- (3) 高階調濃淡画像を用いて、パラメータチューニングされた可塑的カオス・ニューロン結合系の有効性を検証する。さらに、そのシステムを GPU に実装して動作検証を行うとともに、処理速度評価も行う。

4. 研究成果

本研究目的に対し、上述の研究方法により得られた成果の概要は次のとおりである。

可塑的結合部のパラメータ値とポストリゼーション結果との関係を調べるための8ビット濃淡画像例(3×3画素)を図3(a)に示す。これは、画素1, 2, 3からなる領域、画素8, および画素9の三つの高濃度領域がそれぞれ分割されることを期待して作成したものであり、画素*i* (*i*=1, 2, ..., 9)の濃度値を255, 230, 204, 0, 0, 0, 0, 153, 64に設定している。なお、画素番号は図2を参照されたい。

ニューロン結合部のダイナミクスとポストリゼーション結果との関係を詳細に解析した結果に基づいて、可塑的結合に関するパラメータ値を適切に設定した。その設定値において、図3(a)の画像における画素の正規化濃度値は図4に示すとおりに変化した。正規化濃度値とは、*n*ビット濃淡画像の濃度値を[0, 1]に正規化したものである。図4において、縦軸における p_i 値が画素*i*の正規化濃度値を表し、横軸は離散時刻である。 p_1 と p_3 が時間経過とともに変化し、最終的には p_2 と同じ値になった。これは図3(a)に示す入力画像のポストリゼーションがなされたことを意味しており、その結果として図3(b)に示す減階調画像が得られた。一方、画素8および9については、それらの間の濃度差が大きいため正規化濃度値は変化しない。



図3: 8ビット濃淡画像(3×3画素)とポストリゼーション後の画像

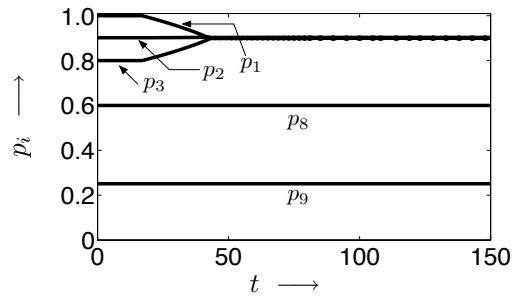


図4: ポスタリゼーション過程

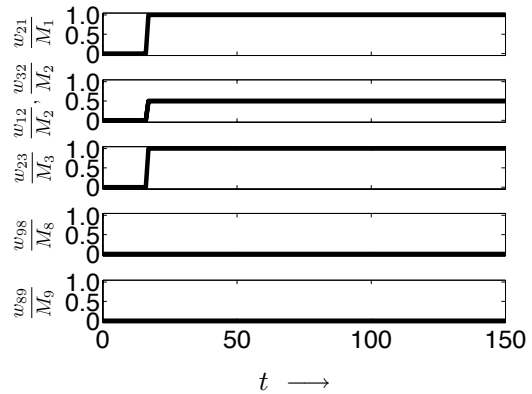


図5: ニューロン間結合強度の変化

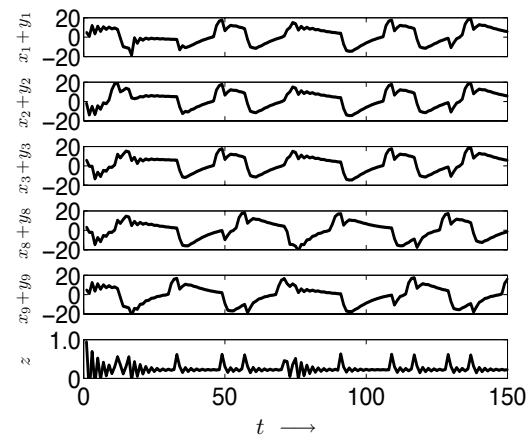


図6: ニューロンからの振動応答

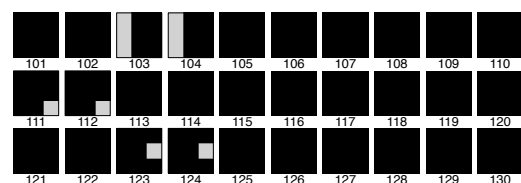


図7: 動的画像領域分割結果

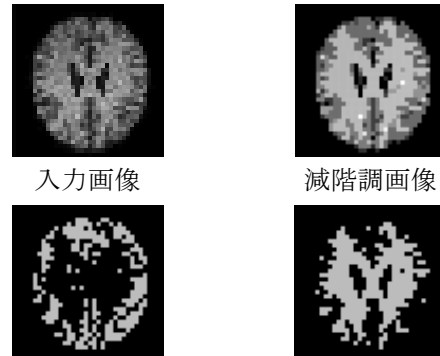
これら正規化濃度値の変化にしたがって、類似濃度値を持つ画素 1, 2, 3 に対応するニューロン間に結合が形成される様相を図 5 に示す。ここで、 w_{ij}/M_i はニューロン i からニューロン j への結合強度である。図 4 において p_1 と p_3 が p_2 の値へと徐々に変化し始めた時刻 $t=18$ で、ニューロン 1 と 2 の間、およびニューロン 2 と 3 の間の結合が形成されている、つまり $w_{ij}/M_i=1, i=1, 2, 3$ が 0 から正値になっているのが分かる。なお、ニューロン 1 と 3 からニューロン 2 への結合係数が 1 ではなく 0.5 になっているのは、 w_{ij} の値を結合している近傍ニューロン数 M_i で除しているためである。一方、ニューロン 8 と 9 は隣接しているにも関わらず、ポストリゼーション後の正規化濃度値が同じでないため、それらニューロン間の結合は形成されない。

次に、ポストリゼーションされた画像に対するカオス・ニューロン結合系の縮約モデルを構築し、その縮約モデルにおけるニューロンの振動応答を非線形力学系理論に基づいて解析した。解析の結果、正規化濃度値が等しい画素に対応するニューロンの振動応答が同相で同期し、それ以外のニューロンとは異なる位相で同期するパラメータ値を見いだした。なお、ここでは全ニューロン間の結合強度が既に決定されていることを仮定していることから、可塑的結合部以外のシステムパラメータ値について解析していることに注意されたい。その解析結果に基づいてパラメータ値を適切に設定した結果、図 6 に示したとおり、結合しているニューロン 1, 2, 3 の振動応答は同相で同期し、ニューロン 8 および 9 とはそれぞれ異なる位相で同期した。

図 7 は、図 6 の振動応答に基づいて出力された画像列を示している。各画像下の数値はシミュレーション時刻（離散値）である。 $t=103, 104$ において画素 1, 2, 3 からなる画像領域が抽出されており、また、画素 9 は $t=111, 112$ において、画素 8 は $t=123, 124$ においてそれぞれ抽出された。これはつまり、図 3(a) における画像領域が期待したとおりに分割されたことを示している。さらに、提案システムを数千画素程度の 16 ビット濃淡画像（医用画像）に適用した結果、図 8 および 9 に示すとおり、ほぼ適切に領域分割できることが例証された。

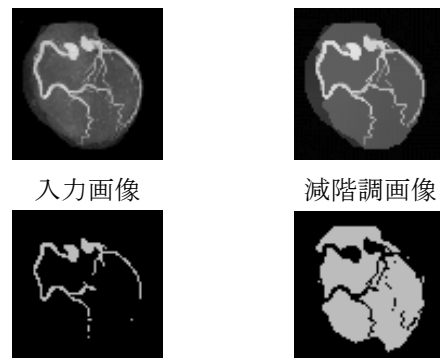
最後に、提案法による領域分割処理の速度向上を図るため、可塑的カオス・ニューロン結合系を GPU へ実装した。図 8 および図 9 に示した入力画像に対して、それらの領域分割処理に要する時間を、GPU と中央演算処理装置（CPU）それぞれで実行する場合について計測した。その結果を図 10 に示す。図 8 に示す 36×36 画素の画像では、GPU の処理時間は CPU に比べ約 5.4 分の 1 倍、図 9 に示す 70×70 画素の画像については、GPU の

処理時間は CPU の約 11.3 分の 1 倍となった。すなわち、提案システムを GPU に実装することにより、領域分割処理に係る時間を大幅に短縮できることが例証された。さらに、入力画像の画素数が多いほど、GPU 実装による処理時間短縮の効果は大きいといえる。



領域分割結果（時系列出力画像の一部）

図 8 : 36×36 画素の濃淡画像に対する動的画像領域分割結果



領域分割結果（時系列出力画像の一部）

図 9 : 70×70 画素の濃淡画像に対する動的画像領域分割結果

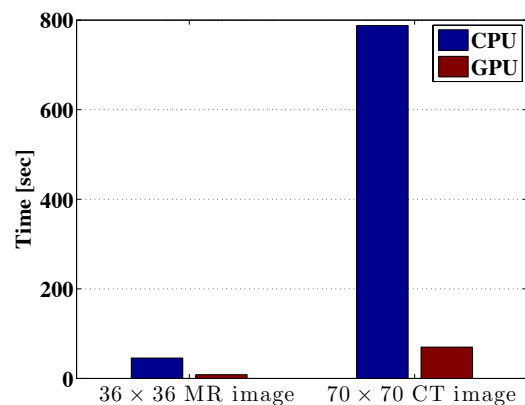


図 10 : GPU と CPU における動的画像領域分割処理時間の比較

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 11 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, Mio Kobayashi, and Tetsuya Yoshinaga, GPU Implementation of Oscillator Network System with Plastic Coupling for Dynamic Image Segmentation, Journal of Electronic Systems, 査読有, Vol.3, No.1, 2013, pp.17-24
<http://www.dline.info/jes/fulltext/v3n1/3.pdf>
- ② Ken'ichi Fujimoto, Mio Kobayashi, Tetsuya Yoshinaga, and Kazuyuki Aihara, Identification of target image regions based on bifurcations of a fixed point in a discrete-time oscillator network, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol.9, No.1, 2013, pp.355-363
<http://www.ijcic.org/ijcic-11-11043.pdf>
- ③ Ken'ichi Fujimoto, Mio Kobayashi, and Tetsuya Yoshinaga, Discrete-Time Dynamic Image Segmentation Based on Oscillations by Destabilizing a Fixed Point, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), 査読有, Vol.6, No.5, 2011, pp.468-473
DOI:10.1002/tee.20683
- ④ Ken'ichi Fujimoto, Mio Kobayashi, and Tetsuya Yoshinaga, Coupled Neuronal System with Plastic Coupling for Dynamic Image Segmentation, IFMBE Proceedings, 査読有, Vol.37, 2011, pp.643-646
DOI:10.1007/978-3-642-23508-5_167
- ⑤ Mio Kobayashi, Ken'ichi Fujimoto, and Tetsuya Yoshinaga, Bifurcations of Oscillatory Responses Observed in Discrete-Time Coupled Neuronal System for Dynamic Image Segmentation, Journal of Signal Processing, 査読有, Vol.15, No.2, 2011, pp.145-153
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40018765080/>

[学会発表] (計 9 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, GPU Implementation of Oscillator Network System with Plastic Coupling for Dynamic Image Segmentation, International Conference on Signal Processing and Telecommunications, 2013.3.24, ElMouradi Palm Marina (チュニジア共和国スース)
- ② Ken'ichi Fujimoto, Coupled Neuronal System with Plastic Coupling for Dynamic Image Segmentation, The 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 2011.9.16, Budapest Congress Center (ハンガリー共和国

ブダペスト)

- ③ Mio Kobayashi, Identification of Number of Target Image Regions Based on Bifurcation of Fixed Point in Discrete-Time Coupled Neuronal System, 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2011.9.5, 神戸市産業振興センター (兵庫県)
- ④ 藤本憲市, 動的画像領域分割のための可塑的結合を有する離散時間ニューロン結合系, 第 24 回 回路とシステムワークショップ, 2011.8.2, 淡路夢舞台国際会議場 (兵庫県)
- ⑤ Ken'ichi Fujimoto, Bifurcation analysis for designing dynamic image segmentation system, The 1st International Symposium on Innovative Mathematical Modelling, 2011.3.2, 東京大学生産技術研究所 (東京都)
- ⑥ Mio Kobayashi, Extraction of image regions using oscillatory responses in chaotic neuronal network, 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2010.9.6, International Cultural Center (ポーランド共和国クラクフ)

[図書] (計 1 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto et al., INTECH, Discrete Time Systems, 2011, pp.405-424

[その他]

ホームページ等

http://www.tokushima-u.ac.jp/med/culture/iyo_gazokiki/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 憲市 (FUJIMOTO KENICHI)
徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス
研究部・助教
研究者番号：20300626

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

()
研究者番号：