

平成 22 年 4 月 5 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20700209  
 研究課題名（和文） 離散時間カオスニューラルネットワークの非線形特性を有効利用した  
 高速画像領域分割法  
 研究課題名（英文） Fast dynamic image segmentation using discrete-time nonlinear  
 dynamics of chaotic neuronal network model  
 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）：画像領域分割は、医用画像診断システムなどの根幹を成す画像処理手法の一つである。研究代表者らは、離散時間カオスニューラルネットワークとよばれるシステムを提案しており、そのシステムの非線形特性を有効利用した高速画像領域分割システムについて研究した。まず、システムの特性を解析し、画像領域分割にとって適切なシステムパラメータ値を詳細に研究した。次に、カオスニューラルネットワークが画像領域分割システムとして正常に動作することを例証した。更に、提案システムを汎用デジタル LSI へ実装した。

研究成果の概要（英文）：Image segmentation is an essential image processing technique in computed aided diagnosis support systems for medical images. We proposed a system called chaotic neuronal network for image segmentation and studied on the development of a fast image segmentation system using the intrinsic nonlinear properties of our chaotic neuronal network model. At first, we analyzed the nonlinear dynamics of our system and found appropriate values of the system parameters for image segmentation. Next, we demonstrated that the system worked well. We also implemented it on a digital LSI.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

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：画像領域分割、カオスニューラルネットワーク、離散時間力学系、非振動応答、振動応答、分岐現象、不安定化制御系、FPGA 実装

## 1. 研究開始当初の背景

画像中の複数オブジェクトを分割するという画像領域分割処理は、画像検査における

基盤技術である。現在、その処理法として、連結領域毎に同じラベル（数字）を貼り付けていく方法であるラベリング法が良く利用

されている。しかしながら、ラベリング法は全画素を数回走査する必要があるため、その計算量は画素数に比例して膨大となる。また、逐次法であることから、並列処理化に適しているとは言い難い。

ラベリング法に代わる画像領域分割システムとして、LEGION (Locally-Excitatory Globally-Inhibitory Oscillator Network) とよばれる振動子ネットワークを用いたシステムが提案されている。このシステムは、1個の振動子が1画素に対応し、振動子の振動応答に基づいて画像領域分割処理が実現される。LEGIONは、各振動子が独立して動作することから並列処理化に適しているものの、そのダイナミクスが常微分方程式で記述されるため、画像領域分割処理を実行するためには計算コストの高い高精度数値積分法を必要とする。また、処理時間短縮のために低計算コストの低精度数値積分法を採用すれば、計算誤差により画像領域分割結果の再現性が保証されない。

これに対し、本研究代表者は、カオス・ニューロンとよばれる神経素子モデルを利用した新しい振動子を開発した。この振動子のダイナミクスは常差分方程式で記述されるため数値積分法が不要となり、その計算コストはLEGIONに比して大幅に削減される。すなわち、本振動子モデルを利用することにより、高速かつ並列処理化に適した画像領域分割システムの開発が期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、離散時間カオスニューラルネットワークの非線形特性を有効利用した高速かつ並列処理化に適した画像領域分割システムの開発を目的とする。ここで、離散時間カオスニューラルネットワークとは、図1に示すとおり、1個の大域的抑制性素子と入力画像の画素数と同数のカオス・ニューロンを持ち、1個のカオス・ニューロン(振動子)が1画素に対応するように網目状に配列して振動子同士を局所的に結合させ、大域的抑制性素子を全振動子と結合させた系をいう。

そのネットワークモデルを用いた画像領域分割処理の原理を図2に示す。入力画像の画素値に応じてカオス・ニューロン同士の結合が決定され、それぞれの振動応答に基づいて画像領域が分割される。そして分割された画像が時系列で出力される。ここでは、振動応答の振幅値がある値を超えたときのみ、その振動子に対応した画素が白色になるように設定している。ところが、システムパラメータ値や初期値によっては、画像領域分割処理にとって不適切な振動応答が生じることがシミュレーションにより判明した。そこで、次の項目について研究する。

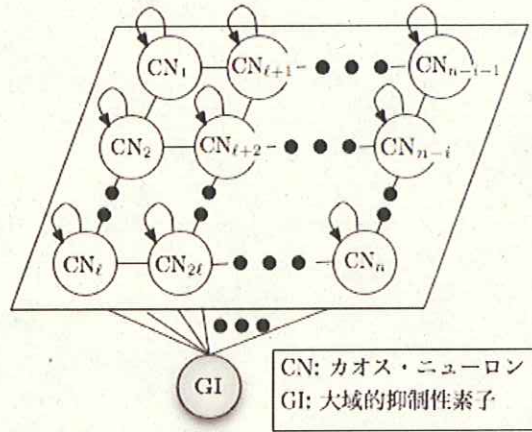


図1: 画像領域分割のための離散時間カオスニューラルネットワークの構造

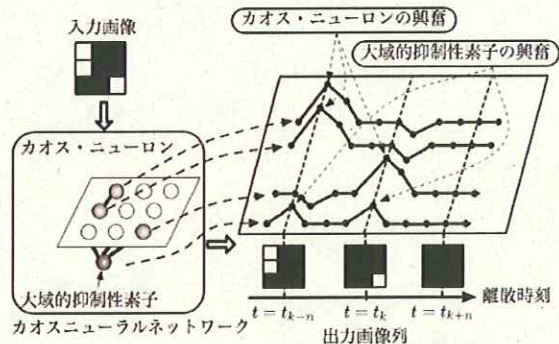


図2: カオス・ニューロンの振動応答に基づいた画像領域分割の原理

(1) 分岐理論に基づく定性的解析法を用いて、離散時間カオスニューラルネットワークに生じる非振動応答や振動応答の分岐現象を解析し、画像領域分割処理にとって適切なパラメータ設計について研究する。

(2) 同一パラメータ上で複数の振動応答及び非振動応答が共存している場合、カオスニューラルネットワークに与える初期値によっては必ずしも適切な振動応答が発生するとは限らない。そのような状況が発生したときに、適切な振動応答を得るための方策について研究する。

(3) 離散時間カオスニューラルネットワークを、汎用デジタルLSIへ実装することができれば、全カオス・ニューロンを並列に動作させることが可能となる。すなわち、超高速な画像領域分割システムの構築が期待できる。その実装可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 高画素の画像に対応する離散時間カオス

ニューラルネットワーク（高次元系）に生じる振動応答の分岐現象を解析することは難しい。そこで、数個の画像領域を持つ画像に対応するネットワークの縮約モデルに生じる非振動応答及び振動応答について解析する。その解析には、本研究代表者らが所属する研究グループが開発した独自の解析法を用いる。この解析により、離散時間カオスニューラルネットワークの本質的な非線形ダイナミクスが解明されることが期待できる。更に、その解析結果は、適切なパラメータ値を設定するのに有益な情報となり得る。

(2) 離散時間カオスニューラルネットワークに与えるパラメータ値及び初期値によっては、すべてのカオス・ニューロンに非振動応答が生じることもあり得る。非振動応答が生じた場合、全体が黒色の画像が常に出力されることになり、画像領域分割が正常に実行されない。そこで、非振動応答の出現を回避するためのメカニズムを導入する。すなわち、非振動応答（安定固定点）を不安定化するための制御系を構築する。

(3) LEGION 及び離散時間カオスニューラルネットワークを用いた場合の画像領域分割に必要な処理時間を比較し、提案システムの高速処理性能を確認する。

(4) 離散時間カオスニューラルネットワークの汎用デジタルLSIへの実装可能性を研究する。提案システム（常差分方程式）を汎用パーソナルコンピュータ上でシミュレーションする際、通常は浮動小数点演算形式で計算される。しかしながら、汎用デジタルLSIへ実装するためには、まず、固定小数点演算形式による演算でも、振動応答が観測できることを検証しておく必要がある。更に、使用するLSIのリソースを削減し、実装可能なカオス・ニューロン素子数を増やすためには、指数関数などの非線形関数を、線形関数等で近似することも必要になる。これら諸問題について研究する。なお、提案システムの実装対象デバイスとして、FPGA (Field Programmable Gate Array) を選定した。

#### 4. 研究成果

(1) 離散時間カオスニューラルネットワークの縮約モデルの一例を図3に示す。これは、2領域を有する画像を分割するためのカオスニューラルネットワークにおいて、一つの連結領域における全カオス・ニューロンの応答が同相同期することを仮定して導かれたモデルである。ここでは、この縮約モデルを2個結合系とよぶことにする。2個結合系に、適当なパラメータ値と初期値を与えること

により、カオス・ニューロンには図4に示す振動応答が観測される。この他、非振動応答も観測される。分岐理論に基づく定性的解析法を用いて、非振動応答及び振動応答が観測されるパラメータ範囲を定量的に調べた。その結果を図5及び図6に示す。図5における

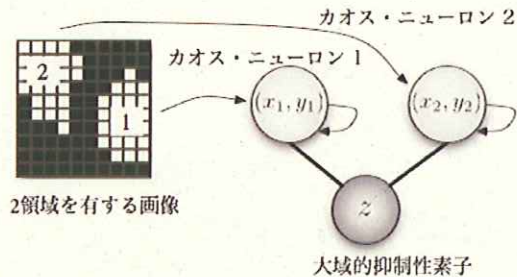
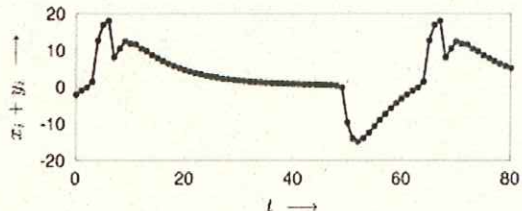
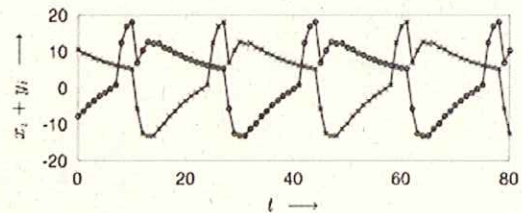


図3: 2領域を有する入力画像に対する離散時間カオスニューラルネットワークの縮約モデル (2個結合系)



(a) 同相振動応答



(b) 逆相振動応答

図4: 2個結合系に見られる振動応答波形

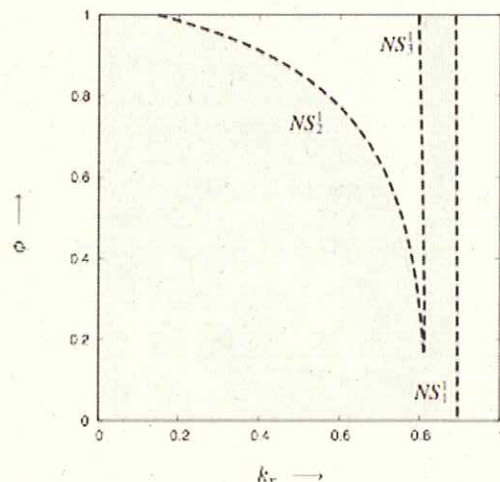


図5: 非振動応答が生じるパラメータ範囲

陰付きパラメータ領域において非振動応答が、図6中の陰付きパラメータ領域では逆相振動応答が観測される。その他、図5中の $NS_1^1$ 曲線の右側領域において、同相振動応答が観測されることも明らかにした。2領域を持つ画像の領域分割を行う場合、逆相振動応答のみが適切な応答となる。従って、これらの解析結果から、図6の陰付き領域内にパラメータを設定すれば、画像領域分割にとって不適切な同相振動応答の発生を回避できることが分かる。なお、3個結合系の解析も行ったが、その結果の掲載は誌面の都合上割愛する。

図5-6に基づいてシステムパラメータを逆相振動応答が観測される値に設定し、図7(b)に示した二つの白色領域を持つ2値画像に対して画像領域分割処理を実行した。その結果、図8に示すとおり、離散時間カオスニューラルネットワークが画像領域分割システムとして正常に動作することが例証された。

(2) 図5-6から読み取れるとおり、先のパラメータ設定値においては非振動応答が共存している。つまり、カオスニューラルネットワークに与える初期値によっては、非振動応答が発生し画像領域分割システムとして正常に機能しない場合がある。そこで、非線形制御理論に基づいて、非振動応答(安定固定点)の発生を回避するための制御システムを

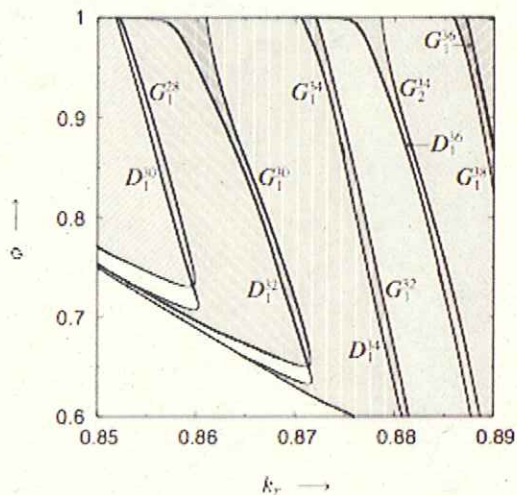
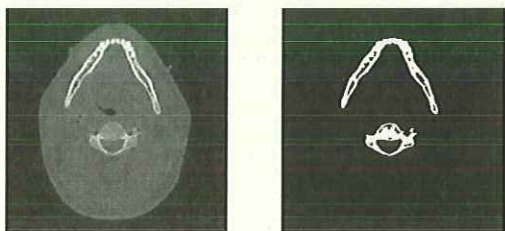


図6: 逆相振動応答が生じるパラメータ範囲



(a) 濃淡画像 (b) 2値化画像  
図7: 256×256画素の濃淡画像と2値化画像

設計した。その制御システムのブロック線図を図9に示す。また、この制御系を離散時間カオスニューラルネットワークに組み込むことによって、非振動応答の発生を回避できることをシミュレーションにより実証した。

(3) 図10(a)に示した128×128画素の濃淡画像に対してしきい値処理を施し、同図(b)の三つの白色領域を持つ2値化画像を得た。この2値画像を入力してから分割画像列を得るまでの時間(振動応答の約1周期分を計算するのに要したCPU占有時間)を測定した結果、LEGIONでは約24秒もの処理時間を要したのに対し、離散時間カオスニューラルネットワークでは1秒以内であった。従って、提案システムはLEGIONよりもかなり高速であることが例証された。なお、パラメータは、3個結合系の解析結果に基づいて設計した。

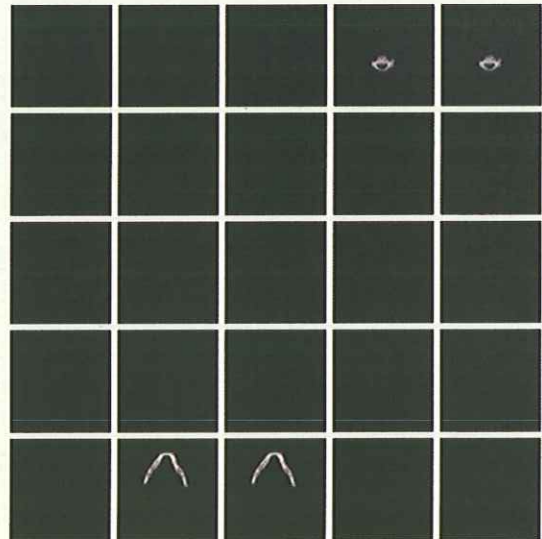


図8: 逆相振動応答に基づく領域分割結果

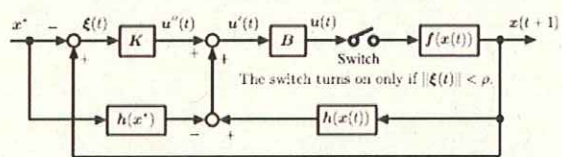


図9: 非振動応答の発生を回避するための制御システム(安定固定点の不安定化制御系)



(a) 濃淡画像 (b) 2値化画像

図10: 128×128画素の濃淡画像と2値化画像

(4) 離散時間カオスニューラルネットワークをFPGAへ実装した。ここで、状態変数及びシステムパラメータを固定小数点形式で符号化し、更に、システム方程式に含まれる非線形関数を区分線形関数で近似した。一例として、設計した2個結合系のブロック線図を図11に示す。また、FPGA実装した2個結合系において逆相振動応答の発生を確認した(図12)。従って、提案システムをFPGAへ実装すれば全カオス・ニューロンの動作が並列処理され、高画素画像に対しても高速に領域分割可能であることが示唆された。

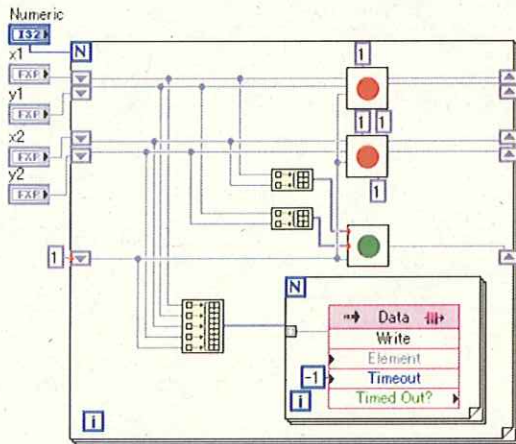


図11:FPGA実装するために設計した2個結合系のブロック線図

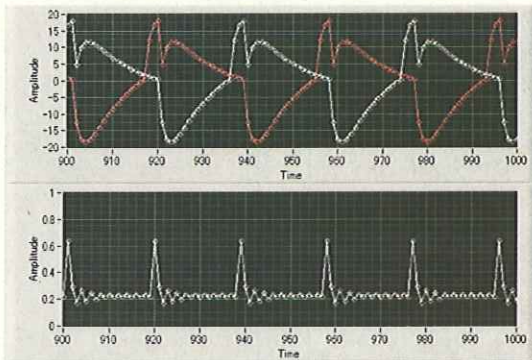


図12:FPGA実装された2個結合系から生成された逆相振動応答波形

### 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16件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, Mio Musashi, and Tetsuya Yoshinaga, Discrete-Time Dynamic Image Segmentation Based on Oscillations by Destabilizing a Fixed Point, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有り, (掲載決定).

- ② 藤本憲市, 武藏美緒, 吉永哲哉, 離散時間カオス・ニューロン結合系のダイナミクスを利用した動的画像領域分割システム, システム/制御/情報, 査読無し, 第54巻, 第1号, 2010, pp.9-14.

- ③ Ken'ichi Fujimoto, Mio Musashi, and Tetsuya Yoshinaga, Reduced Model of Discrete-Time Dynamic Image Segmentation System and Its Bifurcation Analysis, International Journal of Imaging Systems and Technology, 査読有り, Vol.19, No.4, 2009, pp.283-289.

[学会発表] (計12件)

- ① Mio Musashi, Masayoshi Fujiwara, Ken'ichi Fujimoto, and Tetsuya Yoshinaga, Analysis of four-phase oscillatory periodic points for discrete-time dynamic image segmentation, 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, 2010年3月3日, Honolulu (米国).

- ② Ken'ichi Fujimoto, Mio Musashi, and Tetsuya Yoshinaga, Dynamic image segmentation system with multi-scaling system for gray scale image, The 3rd International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing, 2010年1月21日, Valencia (スペイン).

- ③ Ken'ichi Fujimoto, Mio Musashi and Tetsuya Yoshinaga, Dynamic Image Segmentation System for Ultrasonic B-Mode Image Based on its Multi-Scaled Feature Maps, 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2009年10月18日, 北海道(日本).

[その他]

ホームページ等

<http://weblog.medsci.tokushima-u.ac.jp/miee/>

### 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: