

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330288

研究課題名(和文)画像診断支援システムのための離散時間振動子ネットワーク系の機能的設計に関する研究

研究課題名(英文)Study to Design Discrete-Time Oscillator Network for Computer-Aided Image Diagnosis

研究代表者

藤本 憲市 (Fujimoto, Ken'ichi)

香川大学・学内共同利用施設等・助教

研究者番号：20300626

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：画像診断支援システムに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、離散時間振動子ネットワーク系の設計について研究した。カオス応答が複数の領域分割候補(フラグメント集合)を出力することから、カオス応答が発生しうるシステムパラメータ値を解析により見いだした。更に、最大局所リアプノフ指数の最適化問題から、カオス応答が発生するパラメータ値を自動探索する手法も提案した。カオス応答が発生しうるパラメータ値の下で提案システムが医用画像のフラグメントを生成できることを例証するとともに、離散時間振動子単体構造の簡略化やグラフィック専用装置実装による高速化も行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is developing an image segmentation system to be applicable to computer-aided diagnosis system for medical images. We studied the functional design of a discrete-time oscillator network for dynamic image segmentation and obtained the following results. Our detailed analysis of the proposed system gave the parameter values so that the proposed system can generate fragments that are candidates of segmented image regions. We also proposed a method to find such values of system parameters on the basis of an optimization problem on the maximum local Lyapunov exponent. We demonstrated that the proposed system with the parameter values works for three-dimensional medical images well through our experiments. Moreover, from a practical application perspective, we simplified the structure of discrete-time oscillators and implemented the simplified oscillator network in a graphics processing unit.

研究分野：非線形数理工学

キーワード：離散時間振動子ネットワーク 動的画像領域分割 振動応答 カオス フラグメント

1. 研究開始当初の背景

画像領域分割は画像診断支援システムにおける基盤技術であり、術前・術後における臓器体積変化の測定や放射線治療計画時の治療領域の抽出などに利用される。しかし、X線 CT 画像や超音波画像などの医用画像を、統計量やフィルタを用いた従来法で正確に領域分割することは難しく、未だに医療スタッフが手作業で行うことも多い。

本研究代表者らは、図 1 に示すカオス・ニューロンモデルに基づいた離散時間振動子を格子状に結合したネットワーク系を構築し、振動子間の同期現象を有効利用した動的画像領域分割法を考案している(図 2 参照)。振動子間結合方式の改良により高階調濃淡画像へ適用可能となったが、その反面膨大な計算コストが必要となり、高解像度画像への適用が困難となった。また、システムパラメータ値や振動子に与える初期値によっては、見当違いの分割結果が出力されることもあり、3次元高解像度画像を取り扱う医用画像診断支援システムへ応用するためには、これらの問題を解決する必要があった。

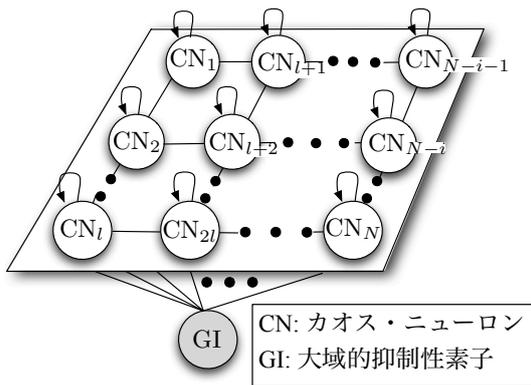


図 1: 動的画像領域分割のための離散時間振動子ネットワーク系の構造

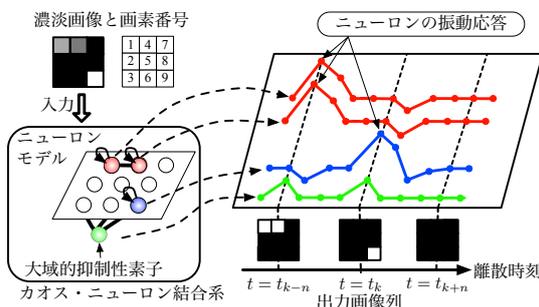


図 2: 離散時間振動子 (ニューロンモデル) からの振動応答に基づいた動的画像領域分割の模式図

2. 研究の目的

離散時間振動子ネットワークを医用画像診断支援システムに応用するべく、振動子間結合方式の改良、カオス振動の有効利用、システムパラメータの最適化など、離散時間振

動子ネットワーク系の機能的設計に関する検討を行うことが本研究の目的である。具体的な研究項目は以下のとおり。

- (1) 同一濃度値が与えられる複数個の振動子を一つの振動子として縮約した系を考え、縮約系に生じる同期現象を解析する。その解析結果に基づいて、高画素画像の領域分割処理にとって適切な振動子ネットワーク系の結合方式とシステムパラメータ値を見いだす。
- (2) 多くの画像領域候補 (フラグメント集合) を得るためには、周期的振動応答のみならず、カオス振動応答も有効利用できる可能性がある。そこで、カオス振動応答が発生しうるパラメータ値を自動探索するための手法を開発する。
- (3) 解析結果に基づいて、3次元画像領域分割アルゴリズムを提案する。
- (4) 類似濃度値の振動子がほぼ同相で同期し、他の濃度値の振動子とは異なる位相差で同期するというクラスター同期現象を発現させる方法を考案する。並行して、動的画像領域分割処理に係る計算コストを削減するため、振動子の構造を検討する。
- (5) 提案システムを、処理の並列・高速性に優れた GPU (Graphics Processing Unit) に実装し、CPU (Central Processing Unit) との処理速度比較を行う。

3. 研究の方法

本考案システムの画像領域分割処理性能は、振動子応答の同期問題に帰着される。問題解決のアプローチとして、非線形分岐理論に基づいた同期現象の解析、制御系設計やシステムパラメータ最適化、カオス振動応答の有効性検証実験、画像領域分割アルゴリズムの開発と検証実験を行い、互いの結果を参照しながら研究を進めた。具体的な研究方法は次のとおりである。

- (1) 分岐理論に基づく非線形現象解析法を用いて、星型結合方式の離散時間振動子ネットワーク縮約系における同期現象を解析する。
- (2) 分岐理論に基づく非線形現象解析法は、提案システムからの振動応答を詳細に解析することができるが、解析に多くの時間を要する。そこで、カオス振動応答が生成されるパラメータを自動探索できる手法の開発について研究する。
- (3) 解析結果に基づいて、周期的振動応答又はカオス振動応答によるフラグメント生成を有効利用した3次元画像領域分割アルゴリズムを開発する。
- (4) 濃淡画像領域分割問題は、類似濃度値を持つ画素集合のクラスタリング問題に帰着できる。同期現象の解析結果を参照しながら、濃淡画像領域分割にとって適切なクラスター同期 (類似濃度値の画素に対応する複数個の振動子が同相で同

期し、他の濃度値を持つ画素に対応する振動子とは異なる位相差で同期する)現象を発現させる方策を検討する。

- (5) 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。

- (1) 図 1 において、隣り合う振動子が大域的素子を通して星型に結合した離散時間振動子ネットワーク系を解析対象とした。その系に見られる周期的振動応答を詳細に解析することにより、振動子から非周期的振動応答(カオス振動応答)が発生するパラメータ値(図 3 中の点 *a*)を求めた。更に、カオス振動応答を有効利用することにより、単一のフラグメントだけでなく、複数のフラグメントが組み合わされた画像出力(画像領域分割結果の候補群)が得られることが分かった。

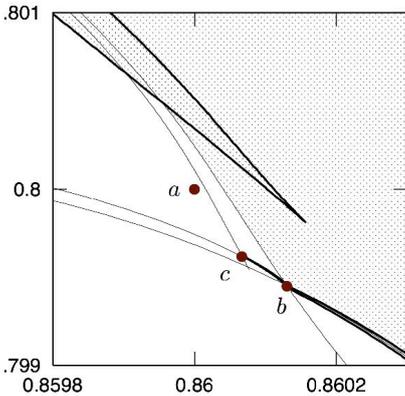


図 3: 周期的振動応答の解析結果

- (2) 離散時間力学系において、カオス応答の発生が期待されるシステムパラメータ値を自動探索する手法を提案した。具体的には、図 4 中の橙色領域(最大局所リアプノフ指数(λ)が正值をとるパラメータ領域)にパラメータ値を誘導するためのパラメータ制御系を考案した。

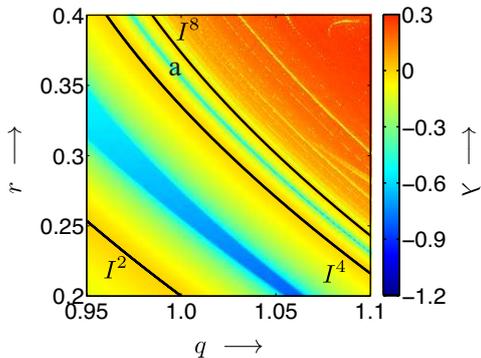
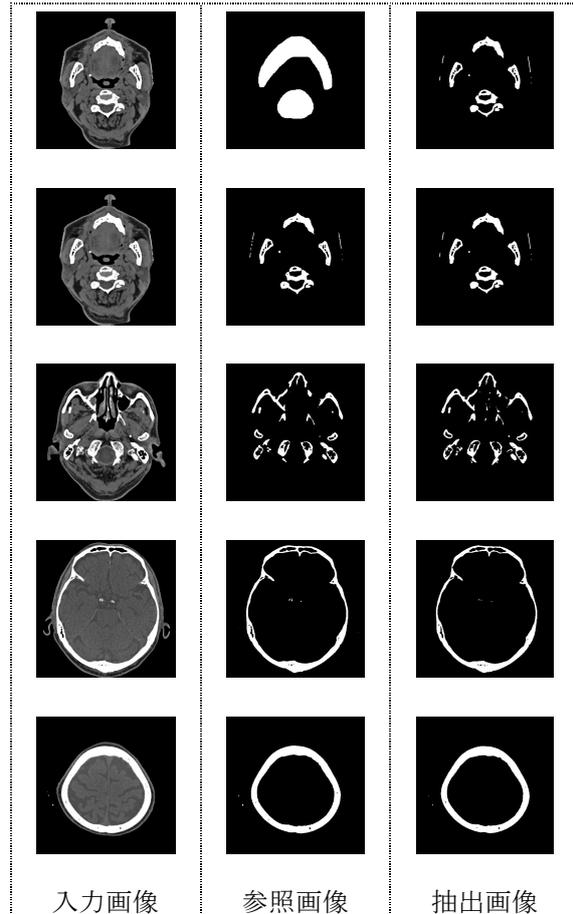
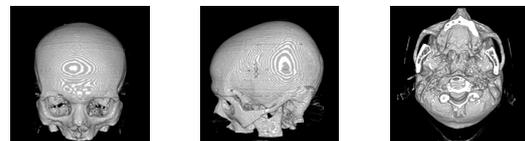


図 4: 離散時間力学系(エノン写像)にみられる周期点の最大局所リアプノフ指数(λ)

- (3) カオス振動応答の発現が期待されるパラメータ値に設定した離散時間振動子の星型結合系を用いて、3次元画像における特徴画像領域を抽出するための逐次的アルゴリズムを提案した。このとき、見当違いの領域分割結果が出力されることを防ぐため、抽出対象領域を含む画像領域を大まかに写しとった2値画像を参照画像(図 5(a)の中央列)として利用することとした。(512×512)画素×486枚からなる3次元CT画像を用いて、提案アルゴリズムの有効性を検証した(図 5)。



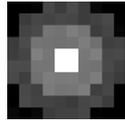
(a) スライスごとの抽出結果



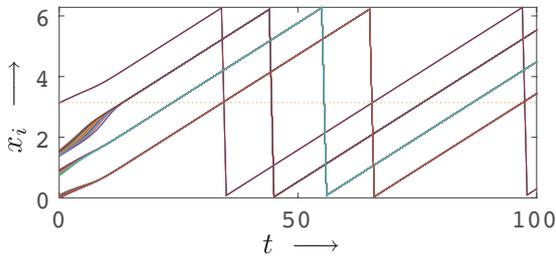
(b) 抽出された頭蓋骨領域の3次元表示

図 5: 3次元頭部 X 線 CT 画像からの頭蓋骨領域の抽出結果

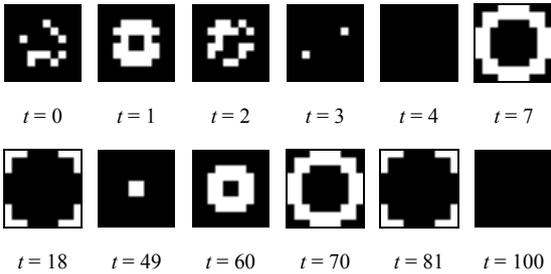
- (4) 類似濃度画素に対応する振動子群(クラスター)が同相同期し、異なる濃度の画素に対応する振動子群(別クラスター)が位相同期する現象を発現させるため、離散時間蔵本モデル(位相振動子)を導入した。図 6, 7 に示すとおり、類似濃度画素が一つのクラスターを形成する現象



(a) 10×10画素の入力画像

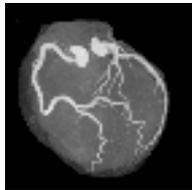


(b) 位相振動子からの応答

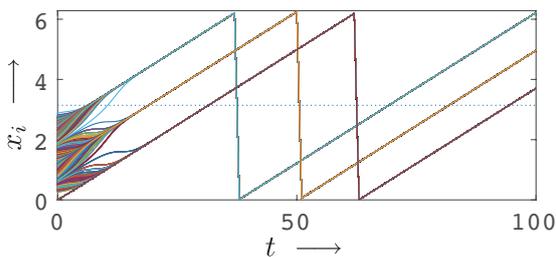


(c) 領域分割結果

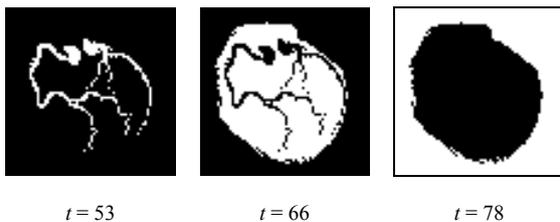
図6: 10×10画像に対する実験結果



(a) 70×70画素の入力画像



(b) 位相振動子からの応答



(c) 領域分割結果

図7: 70×70画像に対する実験結果

が見られ、当該画像領域が適切に分割される結果を得た。また、離散時間蔵本モデルの導入により、システムの変数やパラメータの数を大幅に削減できた。

- (5) 離散時間蔵本モデルに基づいた動的画像領域分割システムを GPU へ実装し、図 6, 7 に示した入力画像に対して、GPU と CPU それぞれで動的画像領域分割処理を実行する場合の所要時間を計測した。その結果、GPU は CPU に比べ 20~30 倍高速であった。なお、離散時間蔵本モデルに基づいた動的画像領域分割システムを用いた 3 次元医用画像分割実験及び GPU 実装による処理速度等の比較検討に関する論文の投稿を準備中である。

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 5 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, Hiroshi Murai, Hiroyuki Kitajima, and Hong He, Discrete-Time Oscillator Network for Extracting Image Fragments, International Journal of Computing, Communication and Instrumentation Engineering, 査読有, vol. 3, 2016, pp. 125-126.
DOI:10.15242/IJCCIE.AE01160013
- ② Kaiji Kato, Kenichi Fujimoto, Hiroyuki Kitajima, Bifurcations in a System of Inhibitory Coupled Neurons, Proceedings of 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 査読有, 2015, pp. 361-364.
- ③ Ken'ichi Fujimoto and Kazuyuki Aihara, Bifurcation avoidance control of stable periodic points using the maximum local Lyapunov exponent, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 査読有, vol. 6, 2015, pp. 2-14.
DOI: 10.1588/nolta.6.2
- ④ 大津智弘, 藤本憲市, 上田哲史, 合原一幸, Duffing 方程式における安定周期振動の分岐回避, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, vol. 114, 2014, pp. 69-74.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009977273>
- ⑤ Ken'ichi Fujimoto, Mio Kobayashi, and Tetsuya Yoshinaga, Successive Algorithm Using Discrete-Time Oscillator Network for Three-Dimensional Image Segmentation, IIE Int'l Conference Proceedings of International Conference on Innovations in Engineering and Technology, 査読有, 2013, pp. 62-63.

[学会発表] (計 4 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, Discrete-Time Oscillator Network for Extracting Image Fragments, International Conference on Innovative Research in Engineering and Technology (国際学会), 2016 年 01 月 21 日～2016 年 01 月 22 日, バンコク (タイ王国) .
- ② Kaiji Kato, Bifurcations in a System of Inhibitory Coupled Neurons, 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会), 2015 年 12 月 01 日～2015 年 12 月 04 日, 香港 (中華人民共和国) .
- ③ 藤本憲市, Duffing 方程式における安定周期振動の分岐回避, 電子情報通信学会非線形問題研究会, 2014 年 12 月 3 日～2014 年 12 月 4 日, 京都大学 東京オフィス (東京都港区).
- ④ Ken'ichi Fujimoto, Successive Algorithm Using Discrete-Time Oscillator Network for Three-Dimensional Image Segmentation, International Conference on Innovations in Engineering and Technology (国際会議), 2013 年 12 月 25 日～2013 年 12 月 26 日, バンコク (タイ王国) .

[図書] (計 1 件)

- ① Ken'ichi Fujimoto, Tetsuya Yoshinaga, Tetsushi Ueta, Kazuyuki Aihara, Springer, Analysis and Control of Complex Dynamical Systems, 2015, 総 211 頁, 執筆担当 49-55 頁.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

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

<http://tesla.cc.kagawa-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 憲市 (FUJIMOTO, Ken'ichi)
香川大学・大学連携 e-Learning 教育支援センター四国・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 :