

自己評価報告書

平成23年5月9日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20300085

研究課題名(和文) 物理カオス結合系による実数コンピューティングシステムの研究

研究課題名(英文) Real Number Computation through Physical Coupled-Chaotic Systems

研究代表者

堀尾 喜彦 (HORIO YOSHIHIKO)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：60199544

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：カオス, 実数コンピューティング, 複雑系, 組み合わせ最適化

1. 研究計画の概要

ノイズ付き実数コンピューティングの計算原理の実験的・理論的理解を目的とし、物理アナログダイナミクスによる実数計算機とデジタル計算機との協調・融合を図った、新しいハイブリッド計算システムを提案・構築する。主に以下について研究する。

(1) 多次元時空間系列観測データ解析手法の開発：多次元時空間系列からシステムの特徴を抽出する手法を開発する。さらに、観測データからシステムの内部ダイナミクスを推定する方法を提案する。

(2) 一般のカオス結合システムへの拡張：これまでのカオスニューロンの結合系を一般的なカオス素子の結合系に拡張する。

(3) 高次元力学系の自己組織学習則：カオス結合系ネットワークのためのダイナミックな時空間学習則を提案する。

(4) ノイマン型デジタル計算機との融合と協調：デジタル計算機との融合により、高速、大容量、柔軟でロバストな計算システムを実現する。

(5) 内部ダイナミクスと外界とのインターフェイス法の開発：内部ダイナミクスと外部ダイナミクスとの物理的なインタラクションによるインターフェイスを提案する。

(6) ノイズの影響の解析とノイズの活用：ノイズが実数計算に与える影響を解析し、ノイズを活用できるシステムの構築を目指す。

(7) 実用問題への応用：上記(4)により構築するハイブリッドシステムを活用して、より実用的で難しい問題の解法に挑戦する。

2. 研究の進捗状況

(1) 多次元時空間列観測データ解析手法の開発：空間および時間相互情報量を用いて、

指数減衰カオスタブーサーチシステムのダイナミクスを明らかにした。

(2) 一般のカオス結合システムへの拡張：システム構成要素として、周期解切り替えカオス発生回路、マルチスクリー回路、 β 写像および負の β 写像カオス回路を提案した。また、連想記憶に適応的格子ダイナミクスを応用した。

(3) 高次元力学系の自己組織学習則：非線形サポートベクターマシンによる動的連想記憶モデル学習則と、エコーステートニューラルネットワークモデルによるカオス時系列学習則を提案した。

(4) ノイマン型デジタル計算機との融合と協調：Lin-Kernighan (LK) 法と Stem-and-Cycle Ejection Chain (SCEC) 法の実行をカオスダイナミクスが制御する手法を提案した。さらに、二重割当法と Slide-and-Insert 法を提案した。

(5) 内部ダイナミクスと外界とのインターフェイス法の開発：各構成要素に共通な外部信号によるシステムダイナミクスの制御方法とその回路実装について検討した。

(6) ノイズの影響の解析とノイズの活用：相互結合型カオスニューラルネットワークにダイナミカルノイズを印可する手法を提案した。適応的格子ダイナミクスによる $1/f$ 揺らぎを印加する方法を提案した。

(7) 実用問題への応用：LK 法と SCEC 法を確率的に選択する手法を提案し、 10^5 から 10^6 オーダの実用規模の TSP を解いた。さらに、複雑ネットワーク理論や連続最適化問題への変換を用いる手法を提案した。

3. 現在までの達成度

① 当初計画以上に進展している。

(理由)

- (1)について：解析手法だけでなく、計算に有効な高次元ダイナミクスの評価も行った。
(2)について：当初計画に加え、マルチスケール、周期解切り替え、 β 写像に拡張した。
(3)について：非線形サポートベクトルマシンや、エコステートネットワークに対する学習則についても提案した。
(4)について：計画に加え、LK法、SCEC法をカオスダイナミクスで駆動する方法や、二重割当法とSlide-and-Insert法を提案した。
(5)について：ダイナミクスの評価まで踏み込んだ。また、適応的カオス制御法の回路実装・実験も行った。
(6)について：ハードウェアでの評価に留まらず、ノイズを最適化問題と学習の両方で活用する手法を提案した。
(7)について：大半の実用問題の規模を超える問題にも対応できる手法を提案した。

4. 今後の研究の推進方策

- (1) 多次元時空間系列観測データ解析手法の開発：ローカルな特徴量からダイナミクスを同定する手法を開発する。また、動的ネットワークの再構成などへの応用を模索する。
(2) 一般のカオス結合システムへの拡張：これまで提案した構成要素により、実際に高次元カオスプロトタイプシステムを構築する。
(3) 高次元力学系の自己組織学習則：時間情報を活用した学習則（特に STDP 則など）へと拡張する。
(4) ノイマン型デジタル計算機との融合と協調：完全並列化が可能な同期更新に対応した方法を提案し、その実装方法を検討する。
(5) 内部ダイナミクスと外界とのインターフェイス法の開発：内部ダイナミクスと外部ダイナミクスとの物理的なインターフェイス装置と制御装置の実装を目指す。
(6) ノイズの影響の解析とノイズの活用：陽に所望のノイズを印加出来るハードウェアシステムの構築を検討する。
(7) 実用問題への応用：複数の異なった実用問題の解法に挑戦する。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計65件)

- ① 椿友介, 関川宗久, 堀尾喜彦, CMOS 可変能動インダクタを用いた強制カオス発生回路, 電気学会論文誌, VOL. 131, 499-506, 2011, 査読有
② 河村鉄夫, 堀尾喜彦, 長谷川幹雄, 二次割当問題のための同期更新指数減衰カオスタブナーチのニューロン選択法の相互情報量による解析, 電気学会論文誌, VOL. 131, 592-599, 2011, 査読有
③ T. Matsuura, T. Ikeguchi, Chaotic motif sampler: Detecting motifs from

biological sequences by using chaotic neuro-dynamics, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, VOL. 1, 207-220, 2010, 査読有

- ④ 堀尾喜彦, 安東弘泰, 合原一幸, 複雑計算システムの基盤技術, IEICE Fundamentals Review, VOL. 3, 34-44, 2009, 査読有
⑤ Y. Horio, K. Aihara, Analog computation through high-dimensional physical chaotic neuro-dynamics, Physica-D, VOL. 237, 1215-1225, 2008, 査読有

〔学会発表〕(計10件)

- ① 橘俊宏, 安達雅春, ブロックシフト交換を用いた非対称巡回セールスマン問題の解法のGPGPUによる高速化の試み, 電子情報通信学会 2011年総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学(東京都)
② Y. Kawamura, T. Ikeguchi, K. Jin'no, Adaptive α -neighbors for the traveling salesman problem using particle swarm optimization, 電子情報通信学会 2011年総合大会, 2011年3月14日, 東京都市大学(東京都)
③ 柴田和亮, 堀尾喜彦, Lin-Kernighan アルゴリズムの考え方を取り入れた二次割当問題に対する局所探索法, 電子情報通信学会総合大会, 2010年3月16日, 東北大学(仙台市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計4件)

名称：負の β 写像に基づくデータコンバータ方式

発明者：堀尾喜彦, 神野健哉, 香田徹, 合原一幸

権利者：科学技術振興機構

種類：特許 番号：特願 2010-087474

出願年月日：2010年4月6日

国内外の別：国内

名称：スケール付き β 写像に基づくデータコンバータ方式

発明者：堀尾喜彦, 神野健哉, 香田徹, 合原一幸

権利者：科学技術振興機構

種類：特許 番号：特願 2010-085212

出願年月日：2010年4月1日

国内外の別：国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕