

機関番号：12601

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007 ~ 2010

課題番号：19560062

研究課題名 (和文) 局所線形化手法に依るダイナミカルノイズの実践的影響解析

研究課題名 (英文) Practical Analysis on Influence of Dynamical Noise by using Local Linearization Methods

研究代表者

等々力 賢 (TODORIKI MASARU)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：10270886

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、あらゆる系に本質的に内在する「ダイナミカルノイズ」のカオスへ及ぼす影響を抽出する、既に提案している手法を発展させ、より効率的にその影響の抽出が可能となると期待されるミクロな視点からの2種類の抽出手法を新たに提案した。

電子回路で生じるカオスモデル (Chua's circuit) から得られた1次元時系列データを用いて構築した位相空間上で複数の対象点を選択し、(1) 局所的な特異値分解法 (Local SVD)、(2) サポートベクターマシン (SVM (Support Vector Machine)) を用いた手法を適用して、局所的な特異値のゆらぎを調べた。

その結果、手法(1)では、マクロな視点では得られなかった特異値間でのゆらぎの違い等、幾つかの重要な特徴的な変化を抽出できた。これはダイナミカルノイズに引き起こされたシステムの局所的な変化を、マクロのように平均化されることなく、局所的な変化のまま詳細にその影響を捉えたことを意味している。ダイナミカルノイズによって生じた局所的な変化の全体への影響を詳細に分析する上で有益であると思われる。手法(2)では、観測ノイズの存在に依らず、ダイナミカルノイズに特徴的な変化を抽出できた。幾つかのパラメータ値を用いて解析を行った結果、いずれの場合も定性的には同様の結果が得られたが、抽出される特異値のゆらぎの大きさには違いが見られ最適なパラメータ値が存在することが示唆された。

手法(1)での局所空間の探索や、手法(2)での高次元空間での高次行列の構築には、想定以上に多くの計算時間を要することが判明した為、ハード面では、計算機性能の向上とクラスターに依る並列化、ソフト面では、並列計算機用アルゴリズム MPI (Message Passing Interface) 規格に基づいた並列化プログラムを作成し利用することに依り、計算効率の改善が図られた。

上記カオスモデルの電子回路を実装して実データを取得し、マクロとミクロな手法に適用した。その結果、いずれの場合も定性的にはお互いに類似の結果を得ることができた。実験条件の制約に依りデータ数を十分に取得できない場合や、外部からのノイズの影響等で、統計的に安定した結果を得ることが困難になる場合もあったが、比較的少数のデータ数に対しても、ダイナミカルノイズの影響を十分に抽出可能であることがわかった。特にミクロな手法(1)においては、局所的な特徴的な影響がより明瞭に抽出可能であった、これより、実データに対してもミクロな本提案手法が有効であることが示された。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, I developed the already proposed method to extract the influence of dynamical noise intrinsic to a system on chaos and proposed two methods, by which the extraction of the influence from the microscopic perspectives was expected to be possible.

A variety of points in a phase space structured by a scalar time series data obtained from Chua's electronic circuit model, were selected and devoted to the application to verify the fluctuation of singular values in the local space by using following two methods; (1) a method to apply Singular Value Decomposition method to a local space (Local SVD), and (2) a method to use Support Vector Machine (SVM).

As a result, in the method (1), some important characteristics such as the difference of fluctuation among singular values that cannot be recognized in the macroscopic method are perceived. This means that the influence of dynamical noise in a local space is

directly reflected in the results without averaging the influence in whole space such as the macroscopic method and is useful to analyze the way of spreading of the influence of dynamical noise from a local space to a global one. In the method (2), the influence of dynamical noise can be extracted in the presence of measurement noise. Some parameters are used for this analysis. As a result, similar results are obtained in any parameters each other. The existence of optimal parameter values were indicated by recognizing the difference of fluctuation of singular values depending on such parameters.

Searching above-mentioned local space in the method (1) and treating high dimensional matrices in high dimensional space spends a longer time than expected before. Accordingly a program to solve the problem is being made. Here, for the sake of obtaining the high efficiency of numerical method, the improvement from the hardware side by parallelizing a computer system as a cluster machine and from the software side by introducing a parallel computing algorithm; MPI (Message Passing Interface) and making and using a parallel program were executed.

While I made an electronic circuit to show chaotic behavior, applied the obtained data from this circuit to the macroscopic and microscopic methods, and compared those methods. As a result, it can be obtained that those results have qualitatively similar ones to each other. Although, in some cases, sufficient number of data cannot be acquired owing to the restriction to the experimental condition, unexpected external noise, and so on, the characteristic influence by dynamical noise can be obtained for even a small number of data. Especially, in the method (1), the characteristic influence to a local space can be more clearly extracted. Therefore, it can be said that the applicability of the proposed microscopic methods to realistic data was indicated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・工学基礎

キーワード：①数理工学 ②数理物理 ③情報工学 ④非線形 ⑤時系列解析

1. 研究開始当初の背景

ダイナミカルノイズは、物理、化学、生物、社会、情報通信、脳科学、経済等、あらゆる分野に存在する系に本質的なノイズである。ノイズ源は系に依存して様々ではあるがその影響は系に依らず共通しており、多くの場合は複雑なフィードバックの効果に依り系を不安定化させる等の弊害を与える。しかし、系が特定の振動モードを有する等の場合には、むしろ系が安定化する等の工学的にも興味深い現象が生じることがわかっている。例えば、Stochastic Resonance (確率共鳴、確率共振)、Coherence Resonance、あるいは、様々な共鳴、同期現象がこれに当たる。

このようにダイナミカルノイズは数理科

学的にも、工学的にも重要な研究対象である為、これまで様々な研究が行われてきてはいるが、特に実世界の系におけるダイナミカルノイズについては、系が非常に複雑になるが故に未だ十分には解析されていないのが現状である。

本研究ではこれまでに、「ダイナミカルノイズ」のカオスへ及ぼす影響を評価するための基礎研究を既に行い、種々の典型的な少数次元のカオス力学系あるいは、CML(Coupled Map Lattice)やGCM(Globally Coupled Map)のようなカオス結合系に対して有効な手法を提案している(*1)。これは観測された時系列データに対して特異値分解を行い、得られた特異値の時間的なゆらぎを抽出することにより、ダイナミカルノイズのシステムへ

の影響を調べる手法である。とりわけ、観測ノイズが存在する環境下においてもダイナミカルノイズのみによる影響を抽出できるという優れた特性を有している。これは、実世界の系に対して非常に有効であると期待される。また、本手法を用いることにより、ダイナミカルノイズに起因した「ノイズ誘起秩序」と見られる現象の抽出が可能であることが示され、そのメカニズムの解明に役立つものと考えている。

しかし、本解析法はマクロな視点からのものである為、その適用には弊害のあることがわかってきた。即ち、カオス力学系に限らず実世界の系の多くは非線形である為、マクロな視点からの大域的な線形解析である通常の特異値分解法では必ずしも十分に系の特徴を表現することができない、ことである。また、ダイナミカルノイズの影響は、カオス力学系の場合、局所的に現れる場合も多いが、本手法で解析するとそれらの局所的な特徴的な性質を十分には反映させにくい問題点があることがわかってきた。そこで、その弊害を克服する新たな線形解析の手段として、本研究では次の2点を提案したいと考えている。

1つ目は、ミクロな視点からの局所的な特異値分解法の方法であり、2つ目は、線形化が可能な高次元空間への写像を行いその写像先の空間上で特異値分解を行う方法、である。いずれの場合も、最終的にはダイナミカルノイズの影響に抛る特定の特異値のゆらぎを抽出することが、これら提案手法の具体的な目標となる。

数学的、理論的裏づけとして、前者の場合は、局所的な特異値分解法 (Local SVD、または、Adaptive Basis Scheme) (*2) の導入であり、後者の場合は、サポートベクターマシン (SVM (Support Vector Machine)) (*3) の導入を予定している。

(*1) M. Todoriki, et al., Phys. Rev. E 72, 036207 (2005).

(*2) D. S. Broomhead, et al., Nonlinearity 4, 159-197 (1991).

(*3) V. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, New York, John Wiley & Sons (1998).

2. 研究の目的

本研究では、あらゆる系に本質的に内在する「ダイナミカルノイズ」のカオスへ及ぼす影響を抽出する、既に提案している手法を発展させ、より効率的にその影響の抽出が可能となると期待されるミクロな視点からの2種類の抽出手法を新たに提案する (以下)。

(1) 局所的な特異値分解法 (Local SVD) を用いた方法

(2) サポートベクターマシン (SVM (Support Vector Machine)) を用いた手法

具体的な目標は以下である。

① 両手法の有効性と、実世界データへの適用可能性を示すこと。

② 両手法間で相互に結果を比較し、手法の優劣について検討すること。

③ 従来のマクロな抽出手法と比較して、本提案手法が原理的に有利な点を明らかにすると共に、実践的にも有利であることを示すこと。

3. 研究の方法

各手法での手順は以下となる。

(1) Local SVD を用いた手法

(1-1) 系を適当な位相空間へ埋め込み、空間的に局所的な特異値分解を行う。

(1-2) 局所的に得られた特異値、及び、特異ベクトルの時間的なゆらぎを抽出する。

(1-3) それらゆらぎの、対象とする局所領域の位置やサイズに依る依存性を調べる。また、対象領域間で結果を相互に比較する。

これにより次のことが期待される。各対象領域では、大域的な場合と同様にダイナミカルノイズのみの影響が抽出される。特に、大域的な解析の場合と比べて、ゆらぎを敏感に抽出することが可能になると思われる。また、異なる対象領域間でのゆらぎの比較では、ダイナミカルノイズの場合には、ゆらぎの程度に大きな相違が現われるものと考えられる。即ち、系がカオスのように非線形性が強い場合、安定、不安定多様体間の交差面上あるいは接線上での特異値 (又は特異ベクトル) は複雑に変化すると考えられ、その結果異なる局所空間との間でのゆらぎの程度に差が現れるものと考えられる。従って、これを抽出することはダイナミカルノイズに特有な力学系への本質的な影響の抽出に繋がるものと期待される。

(2) SVM を用いた手法

(2-1) 系を適当な位相空間へ埋め込み後、空間的に局所的な位相点を選択する。

(2-2) 選択した位相点に対して、カーネル関数を用いる通常のスVMの手法を適用して、高次元空間へ写像することにより系の局所線形化を行う。

(2-3) 写像先の高次元空間上で特異値分解を行い、特異値のゆらぎを観測する。

観測で得られるものは、Local SVD を用いた手法の場合と同様である。

両手法に対応するプログラムを作成し、数値計算に依り、本手法の有効性や、性質を検証する。また、従来のマクロな手法と比較す

ることに依り、その優位な点などを検証する。さらに、実データを用いて、本手法が、現実のデータに対しても有効であることを示す。計算量が膨大になる可能性があるので、高速計算が可能で、大きなメモリが搭載可能なコンピュータの導入と、高速処理が可能なプログラムの構築を行う。また、実データは、電子回路かの実験データや、風力データ等の自然データ、等を用いる。

4. 研究成果

本研究では、あらゆる系に本質的に内在する「ダイナミカルノイズ」のカオスへ及ぼす影響を抽出する、既に提案している手法を発展させ、より効率的にその影響の抽出が可能となると期待されるマイクロな視点からの2種類の抽出手法を新たに提案した。

電子回路で生じるカオスモデル (Chua's circuit) から得られた1次元時系列データを用いて構築した位相空間上で複数の対象点を選択し、(1) 局所的な特異値分解法 (Local SVD)、(2) サポートベクターマシン (SVM (Support Vector Machine)) を用いた手法を適用して、局所的な特異値のゆらぎを調べた。

(1) 局所的な特異値分解法 (Local SVD) を用いた方法は、再構築した位相空間上に任意の点を取り、その点を中心として定義された局所空間上の位相点に対して特異値分解を行う手法である。Chuaの電子回路モデルに対して本手法を適用した結果、マクロな視点では得られなかった幾つかの重要な特徴的な変化を抽出することができた。ノイズレベルの変化に対する特異値のゆらぎの変化の仕方に特異値間で違いが見られたが、これはダイナミカルノイズに依り引き起こされたシステムの局所的な変化を、マクロの場合のように全体の変化として平均化することなく、局所的な変化のまま詳細に捉えたことを意味している。ダイナミカルノイズに依って生じた局所的な変化の全体へ影響を詳細に分析する上で有益であると思われる。

他方、(2) サポートベクターマシン (SVM (Support Vector Machine)) を用いた手法は、非線形変換を用いて高次元空間でシステムを再構築し、特異値分解を行う手法である。非線形変換に対応して導入されるカーネル関数は、一般的に用いられるガウシアン関数を用いている。同様の電子回路モデルに対して本手法の適用を試みた結果、観測ノイズの存在に依らず、ダイナミカルノイズに特徴的な変化を抽出できることがわかった。幾つかのパラメータ値を用いて解析を行った結果、いずれの場合も定性的には同様の結果が得られたが、抽出される特異値のゆらぎの大きさには違いが見られ最適なパラメータ値が

存在することが示唆された。

手法(1)での局所空間の探索や、手法(2)での高次元空間での高次行列の構築には、想定以上に多くの計算時間を要することが判明した為、ハード面では、計算機性能の向上とクラスターに依る並列化、ソフト面では、並列計算機用アルゴリズム MPI (Message Passing Interface) 規格に基づいた並列化プログラムを作成し利用することに依り、計算効率の改善が図られた。

上記カオスモデルの電子回路を実装して実データを取得し、マクロとマイクロな手法に適用した。その結果、いずれの場合も定性的にはお互いに類似の結果を得ることができた。実験条件の制約に依りデータ数を十分に取得できない場合や、外部からのノイズの影響等で、統計的に安定した結果を得ることが困難になる場合もあったが、比較的少数のデータ数に対しても、ダイナミカルノイズの影響を十分に抽出可能であることがわかった。特にマイクロな手法(1)においては、局所的な特徴的な影響がより明瞭に抽出可能であった、これより、実データに対してもマイクロな本提案手法が有効であることが示された。

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 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

① M. Todoriki, Statistical Tests for the SVD-based Analysis of Dynamical Noise on Chaos, Int. Sympo. Nolta 2008, 2008. 9. 9, Budapest

② M. Todoriki, Further Investigation for the SVD-based Analysis of Dynamical Noise on Chaos, Int. Sympo. Nolta 2007, 2007. 9. 19, Vancouver

[図書] (計 0 件)

[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◇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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

等々力 賢 (TODORIKI MASARU)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号：10270886

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：