

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630075

研究課題名(和文)自己組織化マップによるインテリジェント学習制御手法の開発

研究課題名(英文)Development of Intelligent learning control by using self-organizing map

研究代表者

本田 真也 (Honda, Shinya)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90548190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題ではニューラルネットワークの一種である自己組織化マップ(SOM: Self-organizing map)を用いて、未知なる制御対象や運用中の故障などにより構造物の状況が変化した場合にも対応可能な学習型の振動制御手法を提案した。本手法ではSOMの学習効果により構造物への入出力信号に関する統計モデルを作成するとともに、構造物のある状態に対して適切な制御入力を同時に学習し出力することで振動制御を行う。数値実験や実時間制御実験により本手法の有用性が確認できた。

研究成果の概要(英文)：The present study proposes a new learning vibration control method by using the self-organizing map (SOM) which is a kind of neural networks. The proposed method is applicable to unknown control objects and adaptive to variation of structure due to troubles. The statistical model of the structure in terms of input and output signals is built by learning effect of SOM, and simultaneously appropriate control input to a certain state of structure is learned, resulting in vibration suppression. From numerical and experimental results, it was revealed that the present method is effective to the unknown control objects.

研究分野：機械力学

キーワード：自己組織化マップ 振動制御 適応制御

1. 研究開始当初の背景

多くの機械構造物はその運用中に様々な環境の変化が生じるため、効果的な振動制御を行うためには柔軟に周辺環境に対応できる制御系を設計する必要がある。そのため、未知な制御対象や環境変化に対応可能な、学習型の制御系の設計手法に関する研究は盛んである。

学習型の制御手法としては、ニューロン結合型ニューラルネットワークを利用したものが主な手法であり、国内外で多くの研究報告がなされている[1]。自己組織化マップ(SOM: Self-Organization Map)(図1)もニューラルネットワークの一種であるが、そのシンプルなアルゴリズムにも関わらず、SOMを援用した制御手法[2]がわずかに提案されているのみであり、SOMのみを用いた制御手法に関する報告は見られない。

研究代表者はこれまで多目的最適化[3]により得られた多次元パレート解の可視化手法としてSOMの利用を試みており、SOMの特長や有用性を理解している。また、スマート複合材の振動制御性能の向上を目的とした最適化手法[4]に関する研究を通し、制御対象のモデル化の重要性も理解している。それらを踏まえ、周辺環境の変化や未知な制御対象に対して、SOMを用いてモデルを統計的に構築する学習制御の開発という着想に至った。

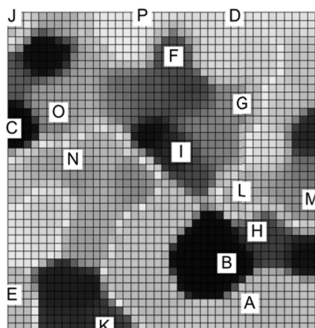


図1 学習後のSOMの例

2. 研究の目的

本研究の目的は、未知な制御対象や構造物の運用中に生じる環境変化にも柔軟に対応可能な振動制御手法として、ニューラルネットワークの一種である自己組織化マップ(SOM)を用いたインテリジェント学習制御手法の開発を行うことである。入出力信号をSOMにより学習し、制御対象の統計モデルをオンラインで作成するため、現代制御理論で求められる詳細な数値モデルを事前に作成する必要がなく、未知の制御対象に関して有効である。また、運用中の環境変化に対しても、学習を通して統計モデルを修正することで、振動の抑制が持続可能となる。

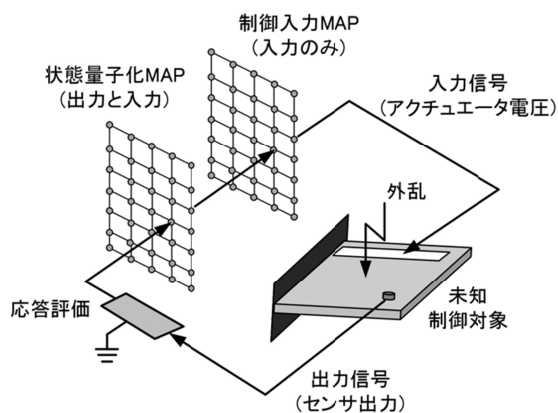


図2 SOMによる学習制御アルゴリズム

3. 研究の方法

(1) 制御アルゴリズム

図2に提案制御手法の概念図を示す。本アルゴリズムは二つのSOMから構成されている。また、ここで未知な制御対象はアクチュエータとして圧電材を、センサとして加速度計などが取り付けられているが、それらおよび構造物の材料定数や形状など、振動特性は未知とする。

(手順1)

何らかの外乱(インパルスやランダム信号)により加振された未知な制御対象に対して、初めはランダムな制御入力を印加する。

(手順2)

制御入力の結果、得られた応答を評価し、状態が改善(振動が抑制)された場合は「状態量子化MAP」でその信号を学習し、そうでない場合は学習しない。ここで、状態量子化MAPへの入力信号は、原因となった過去の入力および結果となる現在の応答が含まれたベクトルとする。すなわち、現在の時刻を t 、入力を $u(t)$ 、応答を $y(t)$ で表現すると、状態量子化MAPへの入力ベクトル x は、例えば $x = [y(t) \ y(t-1) \ y(t-2) \ u(t-1) \ u(t-2)]^T$ となる。

(手順3)

「制御入力MAP」では、状態量子化MAPと同じノードで $u(t-1)$ を学習し、その学習後の信号を再びアクチュエータに印加し、(手順2)と同様の手法で評価学習する。

上記の(手順2)および(手順3)を繰り返し実施することで、未知な制御対象に対して制御入力とその応答の因果関係を統計的に処理しSOM内にクラスタリングする。これによりSOMの学習が十分に進んだ後に、制御対象の各状態に適した(振動を抑制するための)制御入力信号を構造物に印加することが出来る。これは構造物の運用中に何らかの環境変化が起こった際も、学習によりSOMを修

正することで対応可能である．ただし，学習開始当初はランダムな信号のため，制御効果は期待できないが徐々に学習効果が現れ，有効な制御が実行できる．

以上のアルゴリズム開発および数値実験は MATLAB/Simulink の実時間シミュレーションにより実施した．

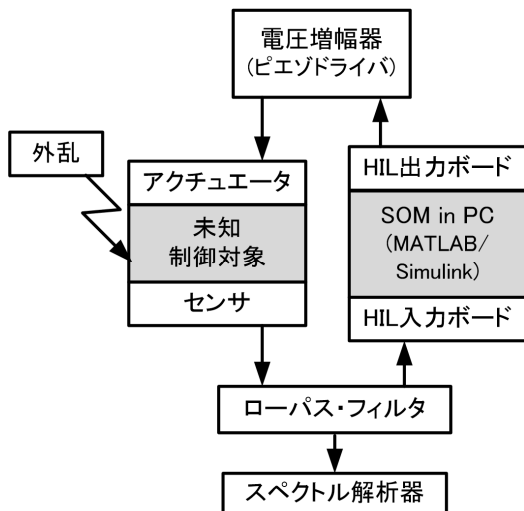


図3 実験システムの概略図

(2) 実験システム

前節で開発したアルゴリズムの効果を実験により検証するため，実験システムの構築および実時間制御実験を行った．実験に使用したシステムの概略図を図3に示す．

未知なる制御対象に小型インパルスハンマにより外乱として構造物を加振する．その応答をレーザードップラー振動計により計測し，スペクトラム解析器で処理しデータを保存する．また，応答信号は同時にHIL(Hardware In the Loop)制御ボードで収集し，PC内のSimulink内に構築された学習制御アルゴリズムで処理された後，制御信号がHIL制御ボードから電圧増幅器(ピエゾドライバ)を通して，圧電材に印加する．計測された応答信号はアナログ・ローパスフィルタなどを通して安定化を図った．Simulink内ではMATLABの埋め込み関数を用いてSOMを定義する．

4. 研究成果

(1) 数値実験結果

図4に示すアルミニウム板と圧電材料により構成された片持ち状のスマート構造物を未知なる制御対象とし，数値実験を行った．外乱の入力点および速度応答の計測点は図の通りである．数値結果を図5(a), (b)に示す．両者とも点線が制御なし，実践が制御ありの結果であり，(a)が構造物の速度時間応答，(b)が速度パワースペクトルである．図5(b)より，

本制御手法を用いることで100 Hz付近の第一次モードが大きく低減されており，350 Hz付近の第二次モードも若干抑えられていることがわかる．また，図5(a)より，振動が制御の効果で素早く収束していることがわかる．

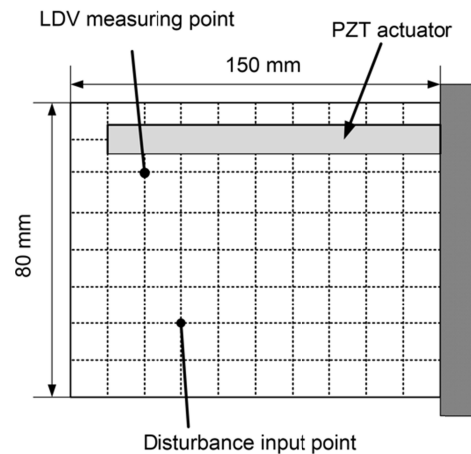
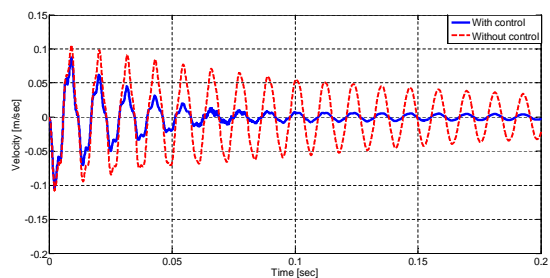
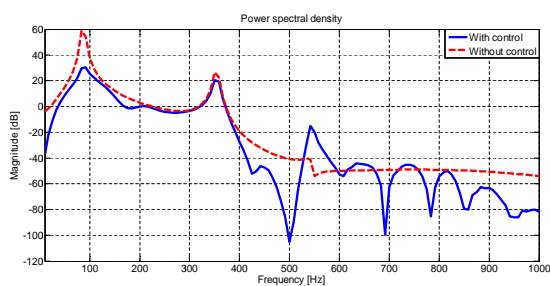


図4 数値計算に用いた未知なる制御対象



(a) 数値実験による速度時間応答



(b) 数値実験による速度パワースペクトル

図5 数値実験結果例

(2) 実時間制御実験結果

前節の数値実験と同様の条件で実験を行った．未知なる制御対象として作成したアルミニウム・圧電材の写真を図6に示し，実時間制御実験結果を図7(a), (b)に示す．数値実験とは異なり第二次モードのピークが若干増加しているが，第一次モードに関しては数値実験同様，ピークを大きく低減できていることがわかった．また図7(a)からも提案手法

により振動を素早く減衰できていることがわかる。

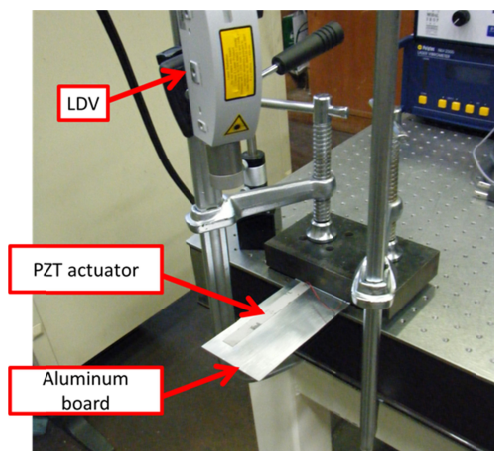
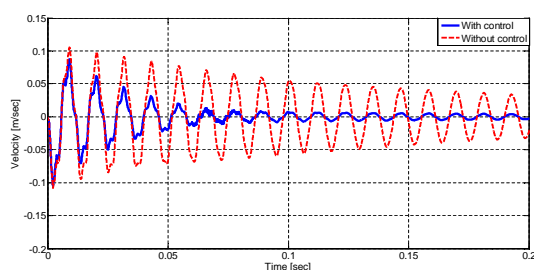
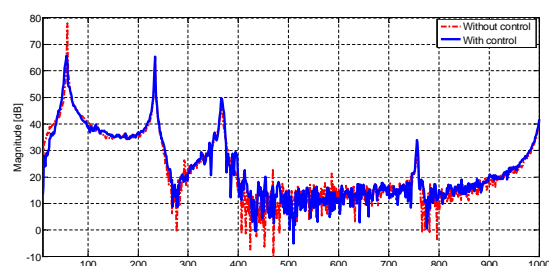


図 6 実験システム



(a) 実験による速度時間応答



(b) 実験による速度パワースペクトル

図 7 実時間制御実験例

(3) 研究成果のまとめと今後の展望

本研究課題では当初計画通り自己組織化マップ(SOM)を用いて詳細な制御モデルを作成することなく、未知な制御対象の振動を抑制することが可能であることを数値実験・実時間制御実験により明らかにした。

SOM のみによる振動制御手法はこれまでに提案された例がなく、本研究で学習制御分野における新たな一手法を提案できた。

また、研究を遂行する過程で用いた SOM により構造物の統計モデルを作成する手法は構造物の老朽化や運用中の故障対策などに有用な構造ヘルスマニタリング(SHM;

Structural Health Monitoring)へ応用できる可能性があることがわかった。そのため、今後はSOMによるSHM手法の開発も行っていく予定である。

<引用文献>

- [1] Ş. Yildirim, J Sound Vib (2004),
- [2] D. Moshou and H. Raramon, J Sound Vib (2003)
- [3] S. Honda et. al., Compos B Eng (2013)
- [4] S. Honda et. al., J Intel Mat Syst Str (2011).

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1件)

1. S. Honda, N. Kida, and Y. Narita, Adaptive Control for Vibration Suppression by Using Self-organization Map, IEEE Conference Publications, Proceedings of 10th Asian Control Conference 2015 (ASCC2015), DOI : 10.1109/ASCC.2015.7244696, 査読有

〔学会発表〕(計3件)

1. 菅原 杏一, 本田 真也, 成田 吉弘, 自己組織化マップによる学習型適応振動制御, Dynamics & Design Conference 2015, 2015.8.25-28, 弘前大学, 弘前市, USB (No. 136, 8.26).
2. N. Kida, S. Honda, Y. Narita, Adaptive vibration control using self-organizing map, The 12th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2014), 2014. 10. 3-7, Sapporo Convention Center, Sapporo, 3B11, USB.
3. 木田直宏, 本田真也, 成田吉弘, 自己組織化マップを用いた振動制御における評価関数の影響, 日本機械学会北海道支部 第53回講演会, 2014.9.27, 室蘭工業大学, 室蘭市, USB, p. 107.

6. 研究組織

(1)研究代表者

本田 真也 (HONDA, Shinya)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：90548190

(2)研究協力者

木田 直宏 (KIDA, Naohiro)
菅原 杏一 (SUGAHARA, Kyoichi)