

氏 名	張 建
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2699 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学位論文題目	ADVANCED SIGNAL PROCESSING TECHNIQUE FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING (構造健全度モニタリングのための高度信号処理法に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 井 合 進 教 授 田 村 武 教 授 澤 田 純 男

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、構造健全度モニタリングにおいて、既往の最小二乗法などによるシステム同定における robustness の問題を解決するとともに、構造システム同定を正確性、安定性、高速性のいずれも兼ね備える形で行えるような新たな信号処理解析法を提案し、この手法の適用性を明らかにしたものであって、9章からなっている。

第1章は序論であり、構造健全度モニタリングにおける精度および安定性向上の必要性を論じたもので、既往の研究における最小二乗法、カルマンフィルター法、 H^∞ フィルター法、モンテカルロフィルター法、遺伝子アルゴリズム法、ニューラルネットワーク法など、種々の方法を参照しつつ、これらの既往の研究における方法の問題点の指摘と、この問題点の解決のために実施すべき研究の流れを提示している。

第2章は、提案する手法の基礎となるサポートベクトル回帰法の理論的基礎を提示したものである。この方法は、既往の研究における最小二乗法とは異なり、回帰式直近の ε 幅の緩衝帯は回帰式の誤差評価の対象とせず、その外側にあるデータに対して、緩衝帯外縁からの距離和として回帰誤差を評価する誤差評価関数に基づく回帰法であり、この方法の理論的基礎を提示することにより、ガウス分布に従わない誤差を含むデータへの解析精度が向上する機構の理論的根拠を論じている。

第3章は、サポートベクトル回帰法の原理を、信号処理解析モデルとして汎用性がある多重自己回帰モデル (ARMA) に導入し、その定式化を含め、本研究で新たに提案する手法の内容を具体的に提示したものである。この提案手法を用いて、ガウス分布に従わない誤差を含むデータへの適用性を検討した結果、従来法の一つであるカルマンフィルター法よりも著しく精度が高いことを明らかにしている。また、提案手法について、10自由度系トラス構造、12自由度質点系などへの適用性など、種々の構造系のシステム同定への適用性を明らかにしている。

第4章は、大規模構造物の健全度モニタリングにおいて、システム同定における計算時間が膨大となるという問題点を解決する方法として、部分構造システムに分解して解析する方法を提示したものである。この方法を、52自由度を有するトラス構造に適用し、計算時間が著しく短縮されることを明らかにしている。

第5章は、提案するサポートベクトル回帰法の適用性を5階建ての建築物の縮小模型の模型振動実験を実施して検討したものである。模型実験では、層間に多層ゴムベアリングを用い、1995年兵庫県南部地震での地震動および正弦波の加振を行っている。解析の結果、提案法は、従来の最小二乗法に比べて、精度および安定性の両面で、より優れた適用性を示すことを明らかにしている。

第6章は、大規模構造物の健全度モニタリングにおいて、システム同定における計算時間が膨大となるという問題点を解決する方法として、第4章で提示した手法とは異なる別の手法として、システム同定方程式を正規座標変換によりモード解析して同定すべきマトリクス要素を対角項に集約することにより計算効率の格段の向上を実現する計算方法を提案している。この方法を30質点系システムなどに適用し、計算効率の改善性を明らかにしている。

第7章は、提案する方法を非線形構造物系に適用できるように拡張したものである。この拡張にあたっては、履歴減衰型

の Bouc-Wen モデルを対象とし、同モデルの指数パラメタを試行的に決定する方法として、提案している。これを 5 質点系システムに適用し、その適用性を明らかにしている。

第 8 章は、第 7 章で提案した手法をさらに一般化し、Bouc-Wen モデルの指数パラメタをシステム同定パラメタとして包含する手法を提示したものである。この手法を、5 質点系システムに適用し、その適用性を明らかにしている。

第 9 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、言語学や画像解析の分野で開発され、独自の発展を遂げてきた新たなデータ処理法であるサポートベクトル回帰法を、世界ではじめて土木工学分野での構造健全度モニタリングに適用・改良し、既往の最小二乗法などによるシステム同定における robustness の問題を解決するとともに、構造システム同定を正確性、安定性、高速性のいずれも兼ね備える形で行えるようにしたものである。得られた研究成果の概要は、次のようにまとめられる。

1. サポートベクトル回帰法は、回帰式直近の ε 幅の緩衝帯は回帰式の誤差評価の対象とせず、その外側にあるデータに対して、緩衝帯外縁からの距離和として回帰誤差を評価する誤差評価関数に基づく回帰法である。本研究では、このサポートベクトル回帰法の原理を、信号処理解析モデルとして汎用性がある多重自己回帰モデル (ARMA) に導入した。この結果、従来の逆解析法に比べ、構造健全度モニタリングの精度および安定性が格段に向上することを明らかにした。
2. 大規模構造物の健全度モニタリングでは、システム同定における計算時間が膨大となる。この問題点を解決するため、システム同定方程式を正規座標変換によりモード解析して同定すべきマトリクス要素を対角項に集約するとともに、部分構造システムに分解して解析する方法を導入し、計算効率の格段の向上を実現する計算方法を提案した。
3. 提案する方法を非線形構造物系に適用できるように拡張した。この拡張にあたっては、履歴減衰型の Bouc-Wen モデルを対象とし、同モデルの指数パラメタを含む非線形システムの同定法を提案した。
4. 提案するサポートベクトル回帰法の適用性を検討するため、5 階建ての建築物の縮小模型の模型振動実験を実施した。模型として層間に多層ゴムベアリングを用い、1995 年兵庫県南部地震での地震動および正弦波の加振を行った。解析の結果、提案法は、従来の最小二乗法に比べて、精度および安定性の両面で、より優れた適用性を示すことを明らかにした。

以上のとおり、本論文は、構造健全度モニタリングにおいて、既往の最小二乗法などによるシステム同定における robustness の問題を解決するとともに、構造システム同定を正確性、安定性、高速性のいずれも兼ね備える形で行えるような新たな信号処理解析法を提案し、この手法の適用性を明らかにしたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 18 年 8 月 11 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。