

氏 名	テ 程	イ 煒
学位の種類	博 士 (工 学)	
学位記番号	工 博 第 2371 号	
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 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	工学研究科資源工学専攻	
学位論文題目	Studies on NDT Image Denoising by Wavelet Transform and Self-Organizing Maps (ウェーブレット変換と自己組織化マップにもとづく非破壊検査画像強調に関する研究)	
論文調査委員	(主 査) 教 授 花 崎 紘 一	教 授 松 岡 俊 文 教 授 田 村 武

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は非破壊検査において得られる信号や画像に関して、それらに含まれるノイズを除去するための方法について論じたものである。非破壊検査の歴史においては、対象となる材料の状態をよりの確に把握できる検査法の開発に努力が傾注されてきた。そうしたなかで、検査信号に対するノイズ除去技術が、効果的かつ不可欠なものとして、重要な役割を果たすようになってきた。この非破壊検査におけるノイズ除去の問題については、これまでにすでに、あらゆる手法について検討され尽くしているようにも思われるが、他の分野において新たな手法が開発されたときには、それらによって既存の手法をさらに改善できる余地と、その可能性について検討する必要性が生じることとなる。本研究では、非破壊検査によって得られた画像信号に対して、新しい周波数解析や統計解析の方法を適用することに焦点を絞った検討を行っている。

本論文では、2つの比較的新しい方法、すなわち、離散ウェーブレット変換 (DWT) と自己組織化マップ (SOM) を取り上げ、非破壊検査画像におけるノイズ除去問題へのそれらの適用性について議論している。

第1部では、離散ウェーブレット変換 (DWT) を取り上げている。ノイズ除去問題への DWT の適用は、それほど新しいものではないが、その方法において核となっているのは、いわゆる閾値を設定して、高周波 (スケールの小さい) 側のウェーブレット係数のなかで小さい値のものをゼロと見なす処理である。しかし、その処理がまさしく画像にボケをもたらしたり、信号の特徴を失わせることにもなるのである。この問題を解決するために、著者はまず、いくつかのスケールにまたがって存在する特徴 (interscale properties) に注目することによって、DWT 係数の中で有用なものとそうでないものとを、より適正に識別できる方法を開発した。この方法は、個々の DWT 係数を、単なる値の大小ではなく、それらが狙っている情報にもとづいて分離するというものであり、その分類にしたがって異なる閾値設定の方法を採用することで、有用な信号をできるだけ保持したまま、ノイズを効果的に除去することを可能としている。第2章では、DWT の理論の紹介と、DWT 係数の分類にもとづいたノイズ除去の方法について述べている。

第3章では、興味深い信号処理の一つの方法として、信号 (画像) 圧縮の方法を用いて、それによってノイズ除去も同時に実現できるようにする手法の開発について検討している。これは DWT 係数に対して、圧縮とノイズ除去の両方の目的にかなう共通した処理を施すことによって、両者の同時的な実現を可能にしようというものである。すなわち、圧縮とノイズ除去のプロセスにおいては、いずれも小さな値の DWT 係数を強制的にゼロとすることが行われるが、このことを利用すれば、一般に、画像の鮮明さと圧縮率との間でなんらかの妥協をはかってバランスを取ることが必要となるが、著者の方法においては、圧縮と同時にノイズ除去を実現することで、鮮明さと圧縮率の両者をできるだけ犠牲にすることなく、検査画像としての鮮明さを強調することに成功している。このアイデアは、オンライン非破壊検査やリモート探傷などにおいて、特に有用と考えられる。

第2部では、自己組織化マップ (SOM) を利用した方法について検討している。SOM は、ノイズ除去の問題を、DWT のような変換をベースとする方法とは異なる観点から捉えるものである。SOM は、観測信号からそれに埋もれた原信号を

分離抽出する問題、いわゆるブラインド・ソース・セパレーション (Blind Source Separation:BSS) に対して適用される独立成分分析 (ICA) の一種であるといえるが、筆者は、非破壊検査で得られる信号において、ノイズもきず信号とともに分離して抽出すべき元信号の一つであるとみなすことで、SOMによるノイズ除去を実現することを試みた。非破壊検査における信号へのノイズの進入は、必ずしも線形なプロセスであると見なせない。このような未知の非線形プロセスの分離には、SOMが特に適している。線形問題におけるICAやBSSについては、既に多くの研究があるものの、非線形な場合についてはまだ未解決である。本研究では、非破壊検査におけるノイズ除去という一つの非線形BSS問題に対して、それを解決する手法の一つとしてSOMについて検討し、このニューラルネットワークをベースとした手法が、データそのものによって自己組織的に実現されるという特徴と、非線形かつパラメータフリーであるという特性を持っているがゆえに、強力な手段となりうることを検証している。

この第2部では、まず第4章においてICAとBSSについて、また、第5章においてSOMについて概観した後、第6章において、非破壊検査画像のノイズ除去問題へのSOMの適用について、その方法を実験結果とともに詳述している。

なお、本論文においては、超音波検査画像を対象とし、まず画像モデルに対するシミュレーションについて述べた後、実際の検査画像への適用について提示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、機械設備や構造物などの安全性や稼働性を評価するために、保守管理として行われる非破壊検査のデータとして得られる信号や画像に含まれるノイズを、効率よく除去するための研究をまとめたものである。すなわち、非破壊検査によって得られた画像信号に対して、周波数解析と統計解析の新しい手法を適用することに焦点を絞った研究である。その主な成果は以下のとおりである。

- 1) 離散ウェーブレット変換 (DWT) によるノイズ除去問題を取り上げ、その方法の核となっているしきい値の設定に関して、ウェーブレット変換により、いくつかのスケールにまたがって存在する特徴に注目することによって、DWT係数の中で有用なものとそうでないものとをより適正に識別できる方法を開発した。これにより、原画像にボケをもたらしたり、信号の特徴を失わせたりすることなくノイズ除去を行えることを示している。
- 2) さらに、この手法によれば、ノイズ除去と同時に画像圧縮を実現することが可能であり、鮮明さを犠牲にすることなく、検査データ画像を圧縮して転送することができる。この著者のアイデアは、非破壊検査のリアルタイム遠隔操作化に寄与するところが多い。
- 3) 非破壊検査で得られる信号へのノイズの進入は、必ずしも線形なプロセスではない。このような未知の非線形プロセスの分離を行うために、ノイズも信号とともに分離して抽出すべき原信号の一つであるとみなすことで、自己組織化マップ (SOM) によるノイズ除去を実現することを試みた。この方法が、データそのものによって自己組織的に実現されるという特徴と、非線形かつパラメータフリーであるという特性を持っているがゆえに、強力な手段となりうることを検証している。

以上要するに、離散ウェーブレット変換や自己組織化マップなどの手法を用いて、機械設備や構造物の非破壊検査で得られる画像のデータのノイズ除去と圧縮を、同時に行うデータ処理方式を提案しており、検査のリアルタイムリモート化、保守管理の信頼性の向上と効率化に寄与する有用な知見を与えたもので、学術上、実際に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16年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。