

氏名	いわい もりお 岩井 守生
本籍（国籍）	京都府
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博 第273号
学位授与年月日	平成29年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科 電気電子・情報システム工学 専攻
学位論文 題目	心磁図における ICA を用いた ノイズ除去の自動化に関する研究
学位 審査委員	主査 教授 小林 宏一郎 副査 教授 恒川 佳隆 副査 教授 長田 洋

論文内容の要旨

心疾患の早期発見が可能である心磁図(MCG: Magnetocardiogram)を計測することは臨床研究において重要となっている。しかし、MCG は微小信号であるため、環境ノイズに埋もれた状態で計測される。そのためノイズ除去技術が必須であり、本来の心臓の活動を知る為には高いノイズ除去精度を必要とされる。現在提案されているノイズ除去手法の一つに FIR (Finite impulse response) デジタルフィルタがあるが、診断可能なレベルまで SN 比を上げるため帯域制限すると、心臓病の診断の一つの要素となる波形を歪ませる問題がある。そのため本研究では、信号分離法である独立成分分析(ICA: Independent Component Analysis)を用いた手法に注目した。この手法は、一度計測信号を各独立成分に分離した後に信号成分のみを用いて再構成することでノイズ除去を行う手法である。しかし、この方法には大きな問題点が挙げられる。それは、分離した各成分をノイズ成分と信号成分に判別する成分選択法が確立されていないことである。従来は、分離した信号を目視で確認し、心臓信号としてもっともらしいものを信号成分とし、それ以外の成分をノイズ成分として選択していた。しかしこのままの方法では計測の自動化や心疾患などの特異的な信号の抽出を行うことができない。そのため定性的かつ手動で行われてきたノイズ除去過程を定量的かつ自動に行うことを可能とする成分選択法を提案された。その方法は、心磁図計測と同時に心電図を計測し、心電図データの自己相関におけるピークのタイミングと心磁図の各独立成分の自己相関のピークのタイミングが一致する成分を信号成分とする定量的な成分選択法である。しかし、心電図計測が必要であることや心電図用の電極などがノイズ源となる問題がある。この問題を解決するため心電図を計測することなく成分選択をする方法が必要とされている。そこで本研究では心電図計測を用いない定量的なノイズ成分と信号成分を判別する成分選択法を確立しノイズ除去過程の自動化を目指す。新たな成分選択法を提案し、シミュレーションによりノイズ除去精度の検討を行った。

本論文では以下の7章にわたり、ICAにおける定量的かつ自動化を目的とした新たな成分選択手法の提案、及び提案手法によるノイズ除去精度の検討を行い、有効性を示す。

第1章は序論であり本論文の背景,目的,概要を述べている。本研究では各独立成分の特徴を定量的に判断することで自動化した成分選択法を提案した。

第2章では心磁図及び環境磁気ノイズ計測時に使用した計測システムについて述べている。本章で述べている機器を用いて計測を行ったデータよりデータを作製しシミュレーションを行った。

第3章では心磁図計測に用いられる信号処理の内、FIR フィルタ,PCA および ICA のアルゴリズムについて述べている。FIR フィルタの特性とその特性から心磁図波形に歪みが現れる可能性を示した。一方 PCA,ICA はアルゴリズムより歪むことなく信号を再現できる可能性を示唆した。

第4章では実際に本論文で検討した ICA を用いたノイズ除去法について統計学を交えて述べている。

第5章では本論文で問題点としている成分選択について述べている。一つの指標として提案された従来法と新たに本論文で自動化を目的として提案した手法について述べている。

第6章では提案手法の有効性を確認するためのシミュレーション方法とシミュレーションの結果について述べている。シミュレーションデータは第2章で述べて機器を用いた計測により得られた心磁図と環境磁気ノイズを基に作成した。全通り解析により得られた最高ノイズ除去精度となる選択パターンと提案手法による成分選択を比較することで提案手法の有効性を示した。

第7章は結論である。

以上より、提案法は、心電図データを用いずに従来法と同様に最高ノイズ除去精度となる成分選択パターンを選択できることが分かった。しかし、自己相関係数を用いているため 0.5~2s の間隔を持つ定常的なノイズに対して判別を行えない可能性がある。ただし前述の条件に当てはまる特定のノイズ以外は判別可能であり、本シミュレーションにより 0~-20dB の SN 比を持つ計測データならば提案法を用いて最高ノイズ除去精度となる成分選択パターンと同様の選択が行えることが分かった。閾値について検討の結果、閾値は計測値の持つ SN 比によって変更する必要性が示唆されたが今回のシミュレーションのように限られた範囲であれば統一の閾値で対応できることが分かった。シミュレーションによりノイズ除去精度を確認したところ、ノイズに対してある程度の有用性を示すことができた。

論文審査結果の要旨

本論文では、心疾患の早期発見が可能な心磁図(MCG: Magnetocardiogram)のノイズ除去において独立成分分析(ICA : Independent Component Analysis)を用いた手法に注目した。ノイズ除去過程である成分選択においてノイズ成分と信号成分を判別する指標が確立していない問題を改善するため定量的かつ自動で判別可能な新たな指標を提案し、その原理と有効性についてシミュレーションによる評価を行った。本論文で提案された手法は、分離された各独立成分の自己相関係数のピーク値を用いて、いままで確立されていなかった成分選択の指標とするものである。この指標を用いることで定量的かつ自動的な成分選択を行うことが容易に実現可能となる。またシミュレーション結果から、0dB,-10dB,-20dB の検討用データにおいて提案指標による成分選択は最高ノイズ除去精度となる成分選択が可能であることが分かった。以下に具体的な論文の内容を示す。

本論文では以下の7章にわたり、ICA における定量的かつ自動化を目的とした新たな成分選

扱手法の提案、及び提案手法によるノイズ除去精度の検討を行い、有効性を示した。

第1章は序論であり本研究の背景、目的及び概要を示した。

第2章では心磁図及び環境磁気ノイズ計測時に使用した計測システムを示した。本論文で用いている検討用データはすべてこれらの計測機器によって計測されたデータを基に作製した。

第3章では心磁図計測のノイズ除去に用いられる信号処理の内、FIR フィルタ、PCA および ICA のアルゴリズムを明らかにし、FIR フィルタの特性とその特性から心磁図波形に歪みが現れる可能性を示した。一方 PCA、ICA はアルゴリズムより歪むことなく信号を再現できる可能性を示唆した。

第4章では ICA を用いたノイズ除去法のアルゴリズムを明らかにした。

第5章では成分選択における問題点を明らかにし、定量的かつ自動での成分選択を実現するために新たな指標として自己相関関数のピーク値を用いた AP 値を提案した。従来提案された成分選択法と新たに本論文で提案した成分選択法のアルゴリズムを明らかにした。

第6章では提案手法の有効性を確認するためのシミュレーション方法とシミュレーションの結果について述べた。シミュレーションに用いた検討用データは、第2章で述べた機器を用いて計測された心磁図と環境磁気ノイズを基に作成した。本提案手法は、SN 比 0~-20dB のシミュレーションにおいて、選択パターンの全通り解析との比較から、最高ノイズ除去精度となる成分選択パターンを選択可能である。しかし、自己相関係数を用いているため心臓の活動と同じ 0.5~2s の間隔を持つ定常的なノイズに対して判別を行えない可能性がある。ただし前述の条件に当てはまる特定のノイズ以外は判別可能である。また AP 値の閾値の検討結果から、閾値は計測値の持つ SN 比によって変更する必要性が示唆されたが、今回のシミュレーションのように SN 比 0~-20dB の範囲であれば統一の閾値で対応できることが分かった。シミュレーションによる定量的なノイズ除去精度を確認した結果より、本提案法の有用性を明らかにした。

第7章は結論であり、本論文のまとめを示した。

以上より、定量的かつ自動で成分選択を可能とするため新たな指標を用いた成分選択法を提案し、その原理と特性を明らかにした。これらの成果は心臓磁場より心臓の活動を正確に把握する技術の発展に寄与することが大である。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編）

題目： Automatic component selection for noise reduction in magnetocardiograph based on independent component analysis

著者名： M. Iwai, K. Kobayashi, M. Yoshizawa, Y. Uchikawa, F. M. Bui

学術雑誌名： JOURNAL OF THE MAGNETICS SOCIETY OF JAPAN

発行年月日： 2017年3月発行予定（採択済）