

氏名(本籍)	イアノフ アレクサンデル イゴレヴィチ
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 7302 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	Capacitive-Resistive Bioelectrical Signal Measurement Method for Wearable Systems (ウェアラブルシステムのための抵抗性・容量性結合に基づく生体電位計測手法)
主査	筑波大学 教授 工学博士 山海嘉之
副査	筑波大学 教授 Ph.D. (工学) 堀 憲之
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 葛岡 英明
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 中内 靖
副査	筑波大学 准教授 博士(工学) 鈴木 健嗣

論文の要旨

心電位、筋電位、眼電位、脳波などの生体電位信号は診療において重要な生体情報であり、医療現場では電極を皮膚に直接接触させ電氣的に繋いだ状態で計測される。容量性結合に基づく非接触での計測法も研究されてきたが、理想条件で一部の生体電位の計測しか実験的に実現されていない。本研究では、日常的な環境下で多チャンネルでの生体情報をセンシングする方法として、モーションアーチファクトと環境雑音の影響を受けないで、皮膚との接触状態に依存せず、一つの計測モジュールで、接触でも非接触でも心電位、筋電位、眼電位、脳波の生体電位信号を計測可能なセンシング手法を研究開発することを目的としている。本研究の目的を達成するため、センサと皮膚の抵抗性結合と容量性結合の両方を満たすことのできる生体電位計測用電子回路原理を提案・開発し、モーションアーチファクトと環境雑音への対策が可能な生体電位計測用電子回路モジュールユニットを構築した。更に、当該計測用モジュールユニットをGPUと一体化させて再構築し、高効率なパイプライン処理機能を有する高機能小型センシングモジュールとして実現した。これにより、100ch以上でリアルタイムでの計測・周波数解析・信号処理・表示が可能となり、世界的にも新しいシステムを実現した。当該システムの基本特性とノイズ対策機能の評価実験を行うとともに、実際に健常者に対する総合評価試験として、接触および非接触にて、心電位、筋電位、眼電位、脳波を多チャンネルで計測した。接触計測では、従来法と同様の性能が得られることを確認し、非接触計測においては、市販されている機器は世界にはないため従来の接触計測法と比較した。その結果、非接触においても、本提案手法は、接触法と同等の性能を発揮することを確認することができ、本研究の有効性・先進性を示すことができた。本研究の成果は日常での健康モニタリングや生体電位情報を用いた医療機器への普及に大きく貢献すると考えられる。

審査の要旨

【批評】

本研究は、従来困難とされた非接触での生体電位計測を実現することが可能であること、そして、一つのセンシングシステムで非接触でも接触でも様々な生体電位計測が可能であることを示した世界で初めての研究であり、従来、物理的原理としては発想されても、脳波、心電位、筋電位、眼電位の全てに対応できるものは実在しなかったが、接触・非接触に関わらず安定的に周波数特性が異なる微弱な生体電位計測を実現できる電子回路原理を提案し、これを計測モジュールユニットとして実現することに成功している。また、パイプライン処理を実現する GPU 搭載型モジュール化ユニットへと当該研究成果を展開させ、毛髪があっても 100ch 以上の脳波をリアルタイムで計測・周波数解析・信号処理・表示することを実現させている。また、博士論文の発表では、多チャンネルでのリアルタイム処理を実現するために設計したパイプライン処理系の先進性を示すため、100ch 以上での脳波計測によるブレインマシンインタフェースを構成し、リアルタイム処理を実現することによりロボット制御を実現するとともに、単体のモジュールの性能を示すためこれを用いてシャツの上から非接触で心電計測を行うなど、提案技術の特徴をわかりやすく示し、本研究の目的が達成できていることを実証している。

博士論文で示された内容、ならびに、博士論文の発表で示された内容を通して、論文審査委員全員は、本研究成果の有用性、先進性を確認することができた。

審査に際し、提案された電子回路原理、小型センサモジュール、GPU 搭載型パイプライン処理系、新規性、有用性などについて、論文審査委員全員から専門的な質疑が行われ、これらの質疑に対して審査員全員が納得できるよう専門知識の補足説明や適切な回答が行われた。博士論文の審査として充実した質疑応答が実施された。国内外の学会等からも表彰されており、国際的な観点からも優秀な研究成果を示すものと評価される。

博士論文発表後に、学位論文審査委員全員で講評した結果、工学的にも社会的にも医学的にも高く評価される研究であると判断されるに至った。

【最終試験の結果】

平成27年2月6日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。