

氏名（本籍）	藤田 大輔（大阪府）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第98号
学位授与日付	令和2年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	光電容積脈波による心血管機能の推定に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 吉野 孝 (副査) 教授 宮本 伸一 講師 鈴木 新

論文内容の要旨

1. 研究背景と目的

生活習慣病は徐々に進行し、最終的に脳卒中や心筋梗塞などの致命的な心血管疾患に至る。日常的な心血管機能の測定でリスクを把握し、生活習慣の改善でこれらの疾患を予防することが重要である。しかし、従来の心血管機能の測定は大がかりな装置が必要であったり、測定時の不快感など日常の測定には不便さがある。一方で、近年モバイル機器を利用した生体情報の測定、管理などをおこなうモバイルヘルス技術が注目されている。モバイル機器で測定できる生体情報の中で有用なものに光電容積脈波(photoplethysmogram, PPG)がある。PPGは光で測定部の連続的な血液量変化を測定した信号である。PPGは心血管機能を反映し、簡便な測定が可能である。本研究ではPPGのこの性質に着目し、PPGによる2つの心血管機能の推定を目的とした。また、モバイルヘルスでのPPGの利用を想定し、PPGの波形特徴量に関する2つの研究もおこなった。本研究にはこれらの4つの研究テーマが含まれる。

2. PPGのサンプリング周波数が波形特徴量の値に及ぼす影響の評価

モバイル機器における低いサンプリング周波数でのPPG測定の利点は、消費電力の低減、計算資源の節約、データ容量の低減がある。サンプリング周波数の低下でPPG波形は劣化する。従来心血管機能の推定に利用された波形特徴量の値への影響を調べ、サンプリング周波数低下の影響を受けにくい特徴量を検討した。

3. 1拍PPG波形全体を特徴量とする方法とその解析

1拍PPG波形は心血管機能を反映するが、従来の特徴量抽出方法はその少数のピークによるものが多く、そのピークが消失する場合もあり1拍PPG波形の情報を十分に活用できなかった。そこで、スプライン補間で1拍PPG波形の時間幅を規格化する手法に着目し、1拍PPG波形そのものを特徴量とする方法と、波形の心拍以外の成分を除去する方法を提案した。提案した特徴量は高次元のため主成分分析をおこない、一部の主成分はサンプリング周波数が低下しても値を保つことを確認した。また、その主成分を説明変数とした回帰分析によって従来の特徴量への代替可能性を示した。

4. PPGによるカフレス血圧推定

従来PPGによるカフレス血圧推定の研究がおこなわれてきたが、被測定者の属性、複数のセンサー、定期的な較正を要するものが多かった。ここでは、PPGのみを使用してカフレス血圧推定をおこなう手法を提案した。提案手法では血圧との相関が報告された特徴量と、それに適したpartial least squares回帰で血圧推定をおこなう手法を提案した。血圧の参照値はカフ式血圧計の収縮期血圧を用いた。また従来のPPGのみによる手法と推定精度を比較し、提案手法の優位性を示した。

5. PPGによる血管年齢推定

血管年齢は実年齢との比較から健康な人にもなじみのある数値であり、健康管理の目標として有効である。ここでは、PPGから多数の特徴量を抽出できる方法と、partial least squares回帰で血管年齢を推定する手法を提案した。血管年

年齢の参照値として機械的な血管の硬さを測定する心臓足首血管指数を用いた。従来の血管機能に関連する特徴量による手法と精度を比較し、提案手法の優位性を示した。

6. 結論

本研究の結果を総括し、結論を述べる。「PPGのサンプリング周波数が波形特徴量の値に与える影響の評価」の研究では、低いサンプリング周波数においても影響を受けにくい特徴量が報告され、これにより従来有用性が示されていた特徴量のモバイル機器での利用可能性が示された。「1拍 PPG 波形全体を特徴量とする抽出方法とその解析」の研究では、従来波形の一部の情報しか得られなかった特徴量の問題を指摘し、波形全体を特徴量とする方法を提案した。これにより PPG からより多くの有益な生体情報が得られることを示した。「PPGによるカフレス血圧推定」では、PPGのみによるカフレス血圧推定を提案し、同様の手法と比較して高精度に収縮期血圧を推定できることを明らかにした。

「PPGによる血管年齢推定」の研究では、従来大がかりな装置で測定されていた血管年齢の測定を、PPGでおこなえる可能性を示した。以上のことから、本研究は PPG の利用の幅を広げ、PPGによる心血管機能測定の実現に進歩を与えたと結論する。

論文審査の結果の要旨

本論文は、「光電容租脈波」の工学的応用のために、サンプリングレート変更の光電容租脈波特徴量の定最評価、レベルクロッシング特徴量を用いた血圧の推定手法および血管年齢の推定手法、主成分分析を用いた光電容租脈波の波形形状特徴抽出手法をそれぞれ提案し、その効果や課題を示した。光電容租脈波の特徴量はピークから抽出される方法が一般的であったが、波形の形状そのものを特徴量として抽出する試みは、従来の方法に比べてロバスト性が高く、高い新規性および有用性を有している。

本論文の学術的価値は高く、博士（工学）論文として、評価できる。

最終試験の結果の要旨

2月4日に公聴会を実施し、論文、口頭発表および質疑応答を最終試験として評価した。最終試験では、主に、以下の事項について質疑がなされ、いずれについても明確な回答を得ることができた。

- (1) 光電容租脈波を用いた関連研究と本研究との関係と新規性および有用性について
- (2) 各推定手法において、異なる特徴量を採用した理由について
- (3) 提案手法の日常的な利用を想定した限界について
- (4) 提案手法を利用可能な条件およびリアルタイムな血圧の測定について
- (5) 脈波に関する基礎的性質について
- (6) 赤色 LED の性能および白色 LED の利用可能性について

以上のことから、3名の審査委員が合議した結果、藤田大輔は、大学院博士後期課程修了者として、博士（工学）の学位を授与するに十分であると判断した。