

氏名（本籍）	栗原康佑（埼玉県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第1173号
学位授与の日付	2024年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	A Study on Non-contact Heart Rate Estimation Using Spatio-temporal Characteristics of Blood Volume Pulse (脈波の時空間特性に基づく非接触型心拍数推定に関する研究)

論文審査委員 (主査) 教授 浜本 隆之
教授 長谷川幹雄 教授 吉田 孝博
教授 谷口 信行 准教授 丸太 一輝
准教授 (津田塾大学) 杉村 大輔

論文内容の要旨

非接触型心拍数推定技術として、顔動画像に生じる心拍由来の画素値変動（脈波）を、時系列解析する手法が注目されている。これまでに、脈波が顔全体に空間伝播する特性に基づいた手法が提案されてきた。しかし、脈波成分の振幅は小さく、環境光変動などのノイズに脆弱な問題がある。そこで本研究では、脈波の時空間特性に着目した、心拍数推定手法を提案する。周期的な心臓の拍動に伴う脈波の時間特性と、空間特性を考慮することで、高精度な心拍数推定を実現する。さらに、提案手法を可視近赤外動画像に応用した、複雑な照明シーンに頑健な手法を提案する。これらの手法は、心拍情報を活用した健康モニタリングを、様々なシーンで行うための新しい手法である。

論文審査の結果の要旨

本論文では、学長からの審査付託を受けて、標記6名の審査委員で構成する審査委員会を組織し、提出された学位論文について審査を行った。

審査委員会においては、学位申請者から、学位論文の内容や前回審査における指摘事項の対応結果について説明させ、その後、質疑応答を実施することで、博士論文として満たすべき条件や必要な修正点を確認するという形式で進めた。

本論文は、顔が撮影された動画像の時系列解析に基づく、非接触型心拍数推定技術に関する研究である。この技術は、顔動画像に生じる心拍由来の画素値変動（脈波）を時系列解析し、心拍数を推定するものである。これまでに、脈波が顔全体から観測可能であるという、脈波の空間特性に基づいた手法が提案されてきたが、脈波成分の振幅は小さく、人物の動きや環境光変動由来のノイズに脆弱な問題がある。そこで本研究では、波動現象である、脈波の時空間特性に着目した心拍数推定手法を提案している。周期的な心臓の拍動によって生じる脈波の時間特性と、脈波が顔全体に伝搬するという空間特性をモデル化して取り入れることで、高精度な心拍数推定を実現している。さらに、提案手法を多波長動画像に適用し、夜間などの様々な照明シーンに対して頑健な手法を提案している。

本論文は、以下の六章から構成されている。第一章では、研究背景と目的、および本論文の構成について述べている。第二章では、脈波の医学的知見や、動画像解析に基づく非接触型心拍数推定に関する関連研究を整理し、本研究の位置づけを示している。第三章では、脈波の時間・空間次元における階層的なモデル化に基づく心拍数推定手法を提案している。第四章では、第三章で提案した階層的なモデルを発展させ、力学的な観点から時空間統一的に脈波のモデル化を行った心拍数推定手法を提案している。第五章では、第四章で提案した時空間統一的な手法を多波長動画像に適用し、夜間などの様々な照明シーンに対して頑健な心拍数推定を実現させている。第六章では、本研究の主たる成果や、今後の展望を示し、総括を行った。

第1回審査では、学位申請者から学位論文の概要について説明があった。主に次のような内容について審査委員から質問や指摘があり、必要に応じて加筆や修正が指示された。

- ・非線形力学系を扱うために行った処理の、動機や利点を明確にすること。
- ・評価に用いたカメラやデータセットに関して、仕様を示すこと。
- ・提案手法が、従来研究のどのような問題点を解決したのかを明確にすること。
- ・数式や参考文献の記述に分かりづらい表現があるため、論文とプレゼンテーション内容を精査すること。

第2回審査では、第1回審査における指摘事項の対応結果について説明があり、それらを受けた内容についての発表が行われた。審査委員から修正点についての質問や、以下のような指摘があった。

- ・様々なノイズ源に対して、なぜ脈波のモデリングが有効なのかを明確にすること。
- ・研究背景や従来研究の問題点を、より広範な観点から捉えて、議論すること。
- ・用語の定義が一部曖昧なので、精査すること。

第3回審査では、公聴会を兼ねて実施し、これまでの審査での指摘事項を踏まえて修正された内容について発表された。発表内容は指摘事項に沿うもので問題なく、十分なものであることを確認した。

以上により、本論文は、博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。