

学位取得者・学術奨励賞受賞者の紹介

第62回
学位取得者

第19回
学術奨励賞

東京理科大学 工学部 電気工学科 助教
くりはら こうすけ
栗原 康佑

東京理科大学
工学部 電気工学科 (2014年度入学)
工学研究科 電気工学専攻 (2019年度修士課程修了)
工学研究科 電気工学専攻 (2023年度博士課程修了)

動画画像解析に基づく非接触型心拍数推定

はじめに

このたびは第19回学術奨励賞および本稿寄稿の機会をいただき、ありがとうございます。私は2014年に東京理科大学工学部第一部電気工学科に入学しました。講義を受ける中で画像処理技術に魅力を感じ、浜本研究室を希望し、配属されました。修士課程修了後に企業に就職しましたが、社会人博士として研究室に戻り、2024年に博士号を取得しました。博士号取得まで、研究面や進路面などで多大なご指導をいただいた先生方に心より感謝申し上げます。本稿では、私が博士課程において取り組んだ、動画画像解析に基づく心拍数推定に関する研究について紹介させていただきます。

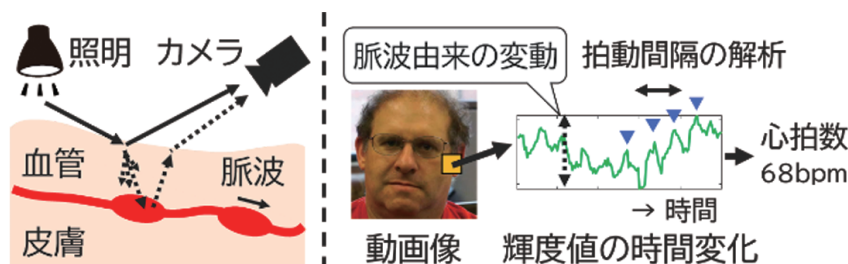
動画画像解析に基づく心拍数推定とは

心身の健康を維持するために、日常的な健康管理は不可欠です。心臓が拍動する回数である心拍数は、健康状態を把握する上で重要なバイタルサインです。従来の心拍数計測は、パルスオキシメーターやスマートウォッチといった機器を身体に装着することで行われてきました。しかし、このような機器は皮膚との接触が必要なため、装着による身体的な拘束や不快感が生じてしまいます。さらに、皮膚炎や敏感肌を持つ人に対しては使用自体が難しい場合もあります。こうした課題を解決するために、身体に触れずに計測できる非接触型の心拍数推定手法が求められています。

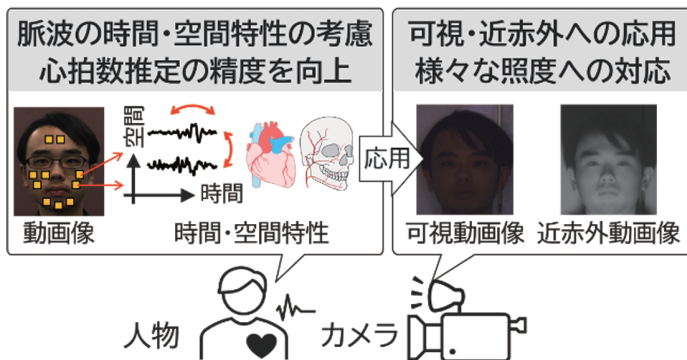
非接触型心拍数推定手法として、カメラを用いたアプローチが注目を集めています。心臓が拍動すると血液量が増減し、それが脈波として皮膚に明るさ（輝度）の変化を生じさせます。この輝度値の時間変化を解析することで、生体信号である脈波信号を抽出し、心拍数を推定することができます（【図1】参照）。この技術は、スマートフォンやパソコンなどに内蔵されたカメラで実現できる簡便なシステムであることから、睡眠モニタリング、遠隔診断、ドライバーモニタリングシステムなど、様々な応用が期待されています。

これまでに、動画画像解析に基づく心拍数推定手法が数多く提案されていますが、その精度には課題があります。それは、脈波由来の輝度変化が人間の目には見えないほど微小な振幅であり、利用者の顔の動きや周囲の照明のわずかな変動でも、脈波信号は大きく劣化してしまうためです。

そこで私は博士課程において、動画画像解析に基づく心拍数推定の精度向上を目的として、研究を進めました。本研究の構成を【図2】に示します。本研究では、脈波が有する時間・空間特性に着目しました。心臓の拍動により生じる脈波には、ほぼ一定のリズムで繰り返されるという特徴があります。一方で、照明変化な



【図1】 動画画像解析に基づく心拍数推定の原理



【図2】 本研究の構成



【図3】 実際の撮影環境

どの外乱はこのような規則的な振る舞いを示しません。このような時間特性を活用できれば、脈波成分と外乱成分を分離できると考えました。また、脈波は心臓から毛細血管まで伝播するため、皮膚表面であればどこからでも脈波信号を抽出できます。こうした空間特性も活用することで、性能向上を図りました。本研究の後半では手法を発展させ、人間の目には見えない近赤外線という光を撮影可能なカメラを活用可能な枠組みに拡張させました。これにより、暗い環境においても高精度な心拍数推定を実現させました。

心拍数推定のための時間・空間特性のモデリング

前述したように、脈波にはほぼ一定のリズムで繰り返される時間的な特性と、全身の血管を通じて伝播することによる空間的な特性を有しています。これらを統一的に考慮することで、外乱の影響を抑えた高精度な心拍数推定が期待できます。

これを実現するために提案手法では、動的モード分解 (DMD) という手法に着目しました。DMDは、時間的に変化する現象を数理モデルで表現し、多次元の時系列データから重要なパターンを抽出する解析手法です。提案手法では、脈波が有する時間特性と空間特性をDMDに組み込み、心拍数推定精度を向上させました。

可視・近赤外情報の適応的融合に基づく手法

前述したDMDに基づく手法は、明るい環境におい

【表1】 絶対値誤差 [bpm] による推定精度の評価

	高照度	低照度	変動①	変動②
従来手法1	5.59	13.47	22.34	17.74
従来手法2	23.99	26.94	24.97	20.63
従来手法3	40.34	39.53	30.01	37.96
提案手法	2.20	5.46	6.43	6.80

ては有効です。しかし、夜間などの暗い環境下では、スマートフォンやパソコンに内蔵された一般的なカメラである、可視光カメラで撮影した動画像には外乱が多く含まれます。このような状況では、脈波由来の微小な輝度変化を正確に捉えることは困難であり、可視光カメラを用いた心拍数推定は難しくなります。

そこで本研究の後半では撮影システムに着目し、可視光カメラに加えて近赤外線カメラを用いることを検討しました。近赤外線カメラは、人間の目には見えない近赤外線を撮影できるカメラです。近赤外照明を併用して撮影することで、暗い環境でも鮮明な動画像を取得することができます。提案手法では、前述のDMDに基づく手法を活用しながら、照明環境に応じて可視・近赤外の情報を適応的に融合させる枠組みを構築しました。

評価実験

提案手法の有効性を検証するために、様々な照明環境を模擬した環境で撮影を行いました（【図3】参照）。正解値は、指先にパルスオキシメーターを取り付けて測定しました。評価指標として、推定心拍数と正解値から算出された絶対値誤差を用いました。【表1】に撮影データを用いた評価結果を示します。提案手法は高い精度を示しており、有効性が確認できました。

おわりに

本稿では、博士課程で取り組んだ動画像解析に基づく心拍数推定を紹介しました。今後の展望として、複数のバイタルサイン推定への発展が挙げられます。脈波には心拍数だけでなく、血中酸素飽和度、呼吸数、血圧といった多様なバイタルに関連する情報が含まれています。これらを考慮することができれば、より包括的な健康管理システムの実現が期待できます。

現在も助教として、学生と共に本研究を続けております。今後は、研究のさらなる発展に加え、研究教育を通じた若手技術者の育成にも力を入れてまいります。