

サーマルカメラからの バイタルサインモニタリング技術

九州工業大学 大学院情報工学研究院 知能情報工学研究系 准教授 徳永 旭将

2022年12月15日



PPG (Photoplethysmography)

概要

- 脈波測定技術
- 脈拍による血管の容積変化を反射光の強度により測定
- その中でも、RGBカメラなど非接触で測定する技術:rPPG (remote PPG)

PPG

• 非侵襲的な測定が可能、安価ではない

rPPG

• 非接触での測定が可能、比較的安価



PPG (Photoplethysmography)

- ▶被験者の負担・導入コストを考慮すると、rPPGがベター
 - 特殊な器具が必要ない
 - 非接触であるため、睡眠中に外れるといった心配がない(定常的な モタリングが可能)
 - 非接触であるため、子供の肌がかぶれるといった心配がない
- ▶ただし、実環境ではいくつかの技術的課題が存在 (次頁)



RGBカメラによるrPPGの課題

光源の影響

- 自然光の場合、光の当たり方が一定ではない
- 屋内環境であっても、低照度下での測定は困難
 - ▶ 屋外での使用・屋内夜間での使用に不向き
 - ▶ 定常的なモニタリングには限界

プライバシーの問題

- 屋外:不特定多数の人が映り込んでしまう
- 屋内:個人情報が映り込んでしまう
 - ▶ 遠隔からのモニタリングにはリスクが多い



サーマルカメラ + rPPG

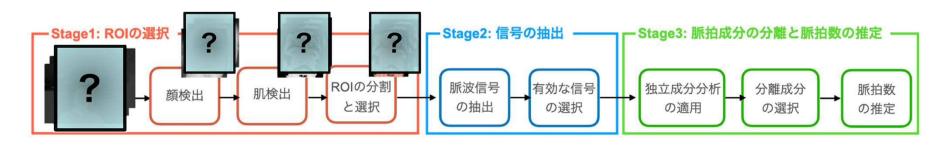
- これまでに述べた課題を<u>全て解決でき得る</u>魅力的な手段
 - ▶ 被験者に装着不要で、光源の影響を受けず、プライバシー問題も緩和
- ただし、RGB画像と比較し次のような困難性:
 - ▶ 空間解像度が低い
 - ▶ 色情報が得られない
 - ➤ RGBカメラによるrPPGと比べると圧倒的に先行研究が少ない



本技術:段階的なサーマル画像処理により上記課題を克服



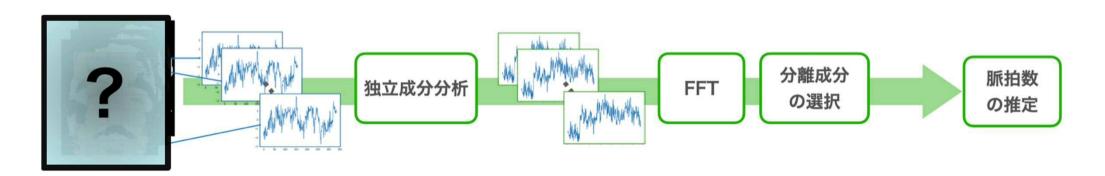
- サーマルカメラで撮影した顔領域から、脈拍推定に適した複数の ROIを自動設定
- 同期的な複数の信号に独立成分分析(Independent Component Analysis: ICA)を適用
- 独自の指標(PulseSNR) により信号の信号対雑音比を計算し、脈 波信号とされる独立成分を自動選択
- 体の動きなどの非脈拍成分を除去した、より明瞭な脈拍信号を抽出
- さらに、抽出した成分を映像化(非リアルタイムで直感的解釈)





Stage1: ROI選択

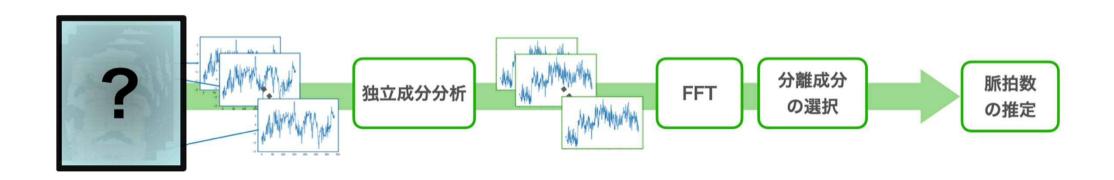
- 顔検出:深層学習による顔検出手法BlazeFaceと閾値処理を併用する
 - ことで定常的に安定した顔検出を実現
- 肌検出: 顔領域のピクセル群を動的にクラスタリングする
 - k-means++を用いて肌領域を検出
- ROIの分割と選択: 縦横等分にして複数のROIを作成後、
 - 非肌領域が多いROIを除外





Stage2: 信号抽出

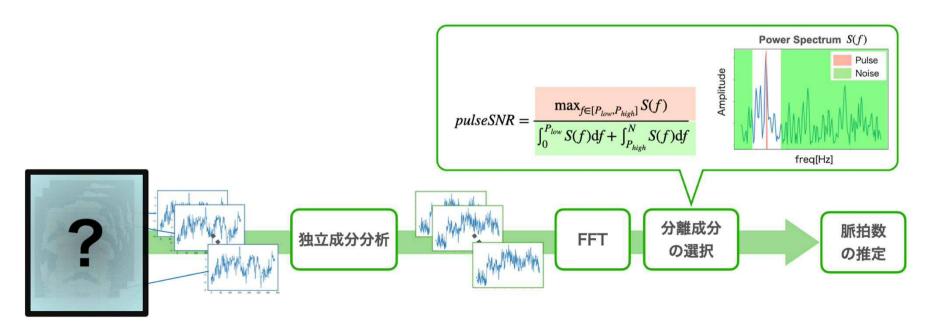
- **信号の抽出**: 各ROI毎に肌領域のみで輝度値の空間平均を計算
- 有効な信号の選択: 幾つかの条件により使用する信号を絞る 条件: [連続する2フレーム間での空間平均値の差, 信号に含まれる 呼吸周波数の強度]





Stage3: 脈拍成分の分離と脈拍数の推定

- **脈拍成分の分離**: 脈拍成分を含む信号群に独立成分分析を適用し ノイズと脈拍成分を分離
- 独立成分の選択: pulseSNRにより脈拍成分を最も含む信号を選択
- **脈拍数の推定**:選択された独立成分の周波数スペクトルにおいて 最大のピークを持つ周波数を脈拍数とする





■ 使用したデータセット

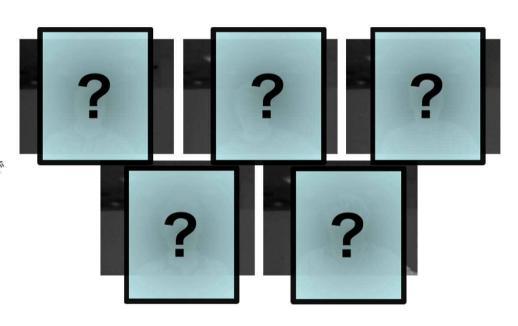
L-CAS Thermal Physiological Monitoring Dataset

Thermal Camera Based Physiological Monitoring with an Assistive Robot [S. Cosar, 2018]

- サーマル映像における生理学的モニタリングアルゴリズムを 評価するためのデータセット
- ・ 椅子に座った5人の被験者の各2分間の映像とパルスオキシメータで 同期的に計測された脈拍数の基準値が含まれる
- 前半1分間はカメラ前で静止、後半1分間は頭を上下左右に傾け、 各アクションは10秒間保持される
- カメラと人物の距離は約1.5m

■ 今回の実験における設定

- 5人中4人のデータを使用
- 前半1分間の静止した状態で撮影された部分を使用
- 各被験者のデータを<mark>約15~20秒</mark>で分割し、総計12個のデータで実験
- 同時間帯にパルスオキシメータで測定された脈拍数の平均値を 基準値 GT_i とする (i = 1,2,...,12)



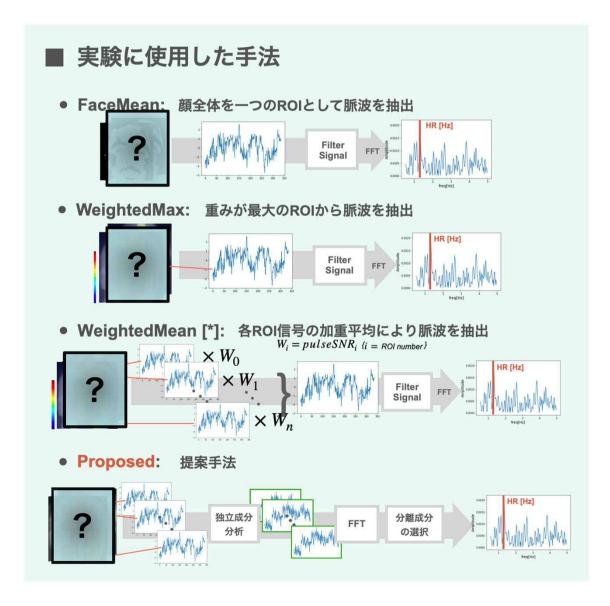
カメラの性能 (Optris PI-450)

光学分解能: 382 x 288ピクセル

フレームレート: 27 Hz

測定範囲: 20~100°C





競合技術を参考にしたもの も含め、新技術以外にも3 つの方法で脈拍信号成分を 抽出



評価指標 MAE: 平均絶対誤差

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| HR_i - GT_i \right|$$
 $HR_i =$ 推定脈拍数 , $i =$ データNo. $GT_i =$ 基準脈拍数 $n =$ データ数 (12)



結果

bpm: 1分間あたりに換算した脈拍数

括弧内は標準偏差

	MAE [bpm]
Face Mean	9.70 (±6.72)
WeightedMax	10.78 (±7.26)
WeightedMean [*]	7.83 (±4.39)
Proposed	5.65 (±2.71)

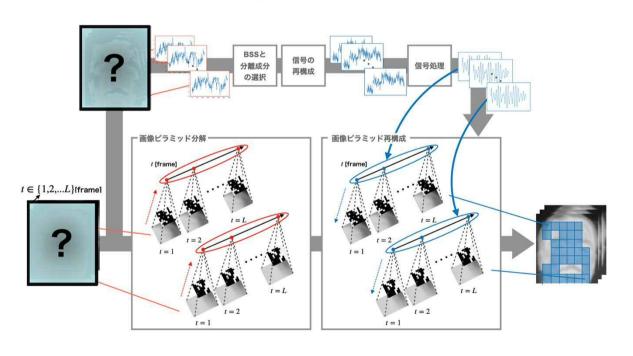
基準として、

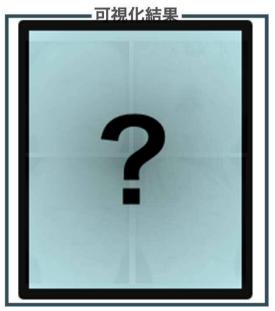
体温が0.5℃上がれば脈拍は8~10bpm増加すると言われている



脈拍成分の映像化

- 画像ピラミッドによる抽出した脈波の可視化
 - 映像の各フレームで画像ピラミッドを最大まで低解像度化することで得られる<mark>時系列信号</mark>を、 提案手法により抽出された脈波に置き換えて画像ピラミッドを再構成





どのような信号成分が抽出されているか、直感的解釈が可能



競合技術①: RGBカメラ + rPPG Mayank Kumar et al., 2015

- ・サーマル画像で撮影した顔領域から,4つの領域を選択
- 各領域から、輝度変化の時系列信号を抽出
- 脈拍成分を多く含む時系列信号ほど、高い結合係数を付与
- ・求めた結合係数で線形和をとることで、RGBビデオ画像から脈波 信号を検出

相違点・課題

- ▶ サーマルカメラではなくRGBカメラを用いている
- ▶ 体の動きなど、非脈拍成分を除去する工夫が弱い



競合技術②: RGBカメラ + rPPG Ming-Zher Poh et al., 2011

- 検出した顔領域全体に対し、RGBチャンネルに対し, 独立に空間フィルタリング
- チャンネルごとに時系列信号を抽出
- 独立成分分析(Independent Component Analysis: ICA)により、3つの独立した成分に分離

相違点・課題

- ▶ サーマルカメラではなくRGBカメラを用いている
- ▶ 顔の中で、脈拍を抽出しやすい領域を絞り込んでいない

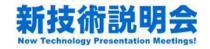


競合技術③: rRGBカメラ + rPPG Ming-Zher Poh et al., 2011

- サーマルカメラ画像から, 顔領域を検出
- 68箇所の"Face Landmark Points"から輝度値の変化を抽出
- それらの平均をとることで、脈拍信号を推定

相違点・課題

- » 顔の中で、脈拍を推定しやすい領域としずらい領域のデータ適応的 な差別化をしていない
- ▶ 体の動きなど、非脈拍以外の成分を考慮していない



新技術の特徴・従来技術との比較

- 競合技術①, ②のように、RGBカメラではなくサーマルカメラ映像から脈拍を推定するため、自然光や低照明環境でも安定した推定が可能
- プライバシー問題を緩和



新技術の特徴・従来技術との比較

- ・競合技術③では、体の動き等の非脈拍成分を考慮していない
- 脈拍成分を推定しやすい領域をデータ適応的に推定 してない
- 新技術ではそれらの課題に対応することで、実環境でもよりロバストな脈拍推定が可能



想定される用途

- ・ 睡眠時の乳幼児の見守り(突然死症候群のリ スク軽減)
- 自宅療養者の監視・生存確認
- 畜産場や農場の遠隔監視



実用化に向けた課題

- 現在、カメラからの距離が1m程度で、被験者が大きく動かない状態での実用的な性能を確認している
- リアルタイム化には、計算時間の削減が課題 (画像処理部分をディープラーニングに移植 するなど)
- サーマルカメラのスペックに対応する画像処理技術のチューニングが必要



企業への期待

- 乳幼児の睡眠見守り、自宅療養者のモニタリング、害獣監視など、安心・安全な社会の実現を地道に目指す企業と連携できると嬉しいです
- ・安価なサーマルカメラシステムを開発している 企業や、地域の医療・福祉機関と連携可能な 企業との共同研究を希望します



本技術に関する知的財産権

• 発明の名称:非接触脈拍推定装置、非接触

脈拍推定方法及びプログラム

• 出願番号 : 特願2022-035911

• 出願人 : 九州工業大学

• 発明者 : 徳永 旭将、野見山 陸



産学連携の経歴

- 2018年 2022年
 JST戦略的創造研究推進事業「さきがけ」に採択
- 2021年 現在 国内自動車部品メーカーと共同研究実施
- 2022年 現在
 NEDO官民による若手研究者発掘支援事業に採択
 国内精密部品検査機器メーカーと共同研究実施
- 2022年 現在
 PARKS GAP NEXTに採択
 大学発スタートアップ企業創出に向けた取り組みを実施



お問い合わせ先

九州工業大学 先端研究社会連携本部 産学イノベーションセンター 尾崎 正

TEL 093-884-3499

FAX 093-884-3531

e-mail chizai@jimu.kyutech.ac.jp