

非接触による心拍検出方法

慶應義塾大学

理工学部 情報工学科

教授 大槻 知明

■新技術の概要

提案技術は、レーダーの受信信号から得られるスペクトログラムを、心拍や呼吸や体動などの源信号の線形混合とみなし、非負値行列因子分解（NMF）によるブラインド信号処理によって心拍成分のみを抽出する。抽出した信号に対しスペクトルの再構成技術等を適用することで、従来技術に比べロバストで、高精度な検出が可能である。

■従来技術・競合技術との比較

提案技術は、非負値行列因子分解（NMF）によるブラインド信号処理によって抽出した信号に対しスペクトルの再構成技術等を適用することで、従来技術に比べ体動や環境雑音に対してロバストで、高精度な心拍検出が可能である。そのため、デスクワーク時や車を運転時など、従来技術では難しかった環境でも心拍検出が可能である。

■新技術の特徴

- ・体動などの雑音に対してロバスト
- ・個人の事前知識なしに検出可能
- ・呼吸検出にも適用可能

■想定される用途

- ・デスクワーク時の疲労・ストレスチェック
- ・睡眠時・リラックス時の健康チェック
- ・車の運転時のドライバーの疲労・ストレスチェック

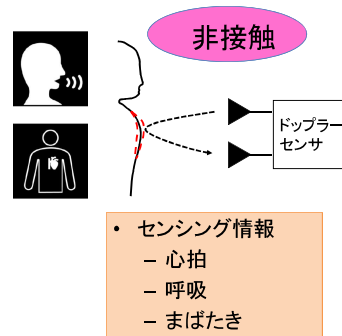
非接触による心拍検出方法

大槻 知明

慶應義塾大学工学部情報工学科 教授
慶應義塾大学知的環境研究センター
データソリューションズ株式会社
ohtsuki@ics.keio.ac.jp



生体信号センシング



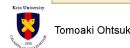
生体信号センシング:応用例

- メンタルストレスの計測
 - 過剰な物理的・精神的ストレスによる労働災害の防止
 - 集中度・疲労度等
 - 作業時・運転時・勉強時

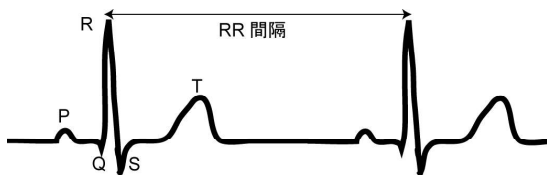


心拍変動指標 (HRV)

- 心拍変動指標 (HRV : Heart Rate Variability)
- 精神的・物理的の負荷により心拍の揺らぎが変化
- 心拍数 (HR) : 自律神経系といくつかのホルモンにより制御されている
- 自律神経系**
 - 交感神経** : 運動時など体が興奮しているときに働く
 - 副交感神経** : 食事中や睡眠時など、体がゆったりとしているときに働く



心電図波形



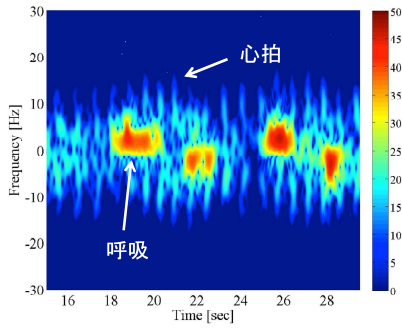
正常な心電図波形

RR間隔

- 自律神経系**
 - 交感神経** : 運動時など体が興奮しているときに働く
 - 交感神経が働くとRR間隔が短くなりHRが上がる
 - 副交感神経** : 食事中や睡眠時など、体がゆったりとしているときに働く
 - 副交感神経が働くとRR間隔が長くなりHRが下がる



ドップラースペクトル



非負値行列因子分解によるブラインド信号分離を用いた非接触型心拍検出

- ドップラレーダの受信信号によるスペクトログラムを、心拍や呼吸や体動などの源信号の線形混合とみなす。NMFによって心拍成分のみを抽出
- ZA-SLMS アルゴリズムによる SSR と結合し、正確な心拍数推定を実現

BSS: Blind Source Separation
 SSR: Sparse Spectrum Reconstruction
 NMF: Non-negative Matrix Factorization
 ZA-SLMS: Zero-Attracting Sign Least-Mean-Square
 BPM: Beats Per Minute

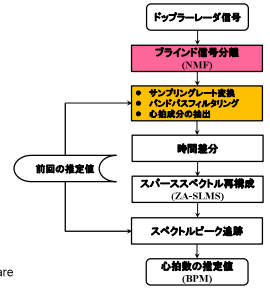
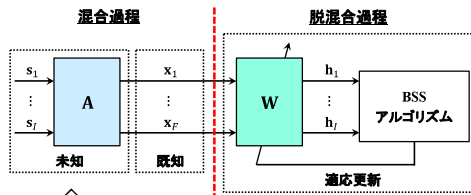


図. BSSを用いるフレームワーク

非負値行列因子分解によるブラインド信号分離を用いた非接触型心拍検出

ブラインド信号分離 (BSS) の基本モデル



提案法は s_i の線形混合を仮定

$s_i, i \in \{1, 2, \dots, J\}$	各源信号
J	源信号の総数
A	混合行列
$x_f, f \in \{1, 2, \dots, F\}$	各観測混合信号
F	観測信号の総数
W	脱混合行列
h_i	各推定信号

スペクトログラムを用いた非接触型心拍検出

- 拍動に起因する周波数帯のエネルギーに基づき心拍検出
 - 心拍間隔に比例した周波数 (0.6~1.0 Hz) は、呼吸や高調波の影響を受けやすい
 - 呼吸や高調波の影響が少ない拍動に起因する 8.0 Hz 周辺の周波数帯のエネルギーに基づき心拍検出
 - STFT を用いてスペクトログラムを算出
 - 拍動に起因する 8.0 Hz 周辺の周波数帯のパワーの積分値からピークを検出

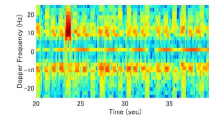


図. スペクトログラム

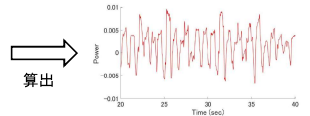
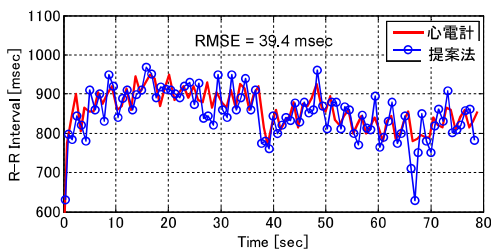


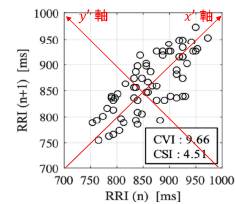
図. 積分値

心拍間隔検出例



- K. Yamamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- C. Ye, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Trans. on Biomedical Engineering (TBME), Oct. 2018.
- 他

ストレス指標精度



- ローレンツプロット
 - ストレス指標 CVI 及び CSI の算出に利用
 - X: x' 軸に対するデータの標準偏差の 4 倍
 - Y: y' 軸に対するデータの標準偏差の 4 倍

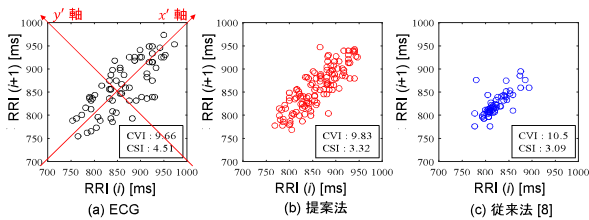
CVI (Cardiac Vagal Index): 副交感神経機能指標

CSI (Cardiac Sympathetic Index): 交感神経機能指標

$CVI = \log(X \times Y)$

$CSI = \frac{X}{Y}$

ストレス指標精度結果



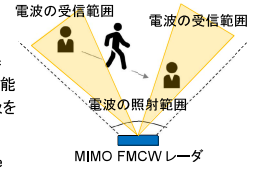
ローレンツプロットの 1 例

CVI 及び CSI の平均絶対誤差

行動	手法	CVI	CSI
着座静止	提案法	0.82	1.42
	従来法	1.23	2.11
タイピング	提案法	0.97	1.72
	従来法	1.29	2.02

非接触呼吸検出

- MIMO FMCW レーダ
 - 複数の送受信アンテナを線形に配置
 - 受信アンテナの指向性を制御することで任意の方位に対する受信信号を取得可能
 - 電波の照射範囲内に人がいれば、呼吸を検出可能

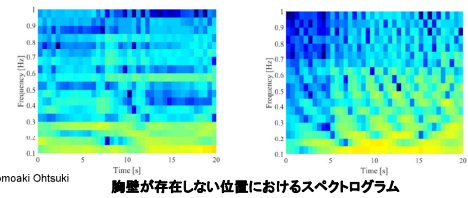
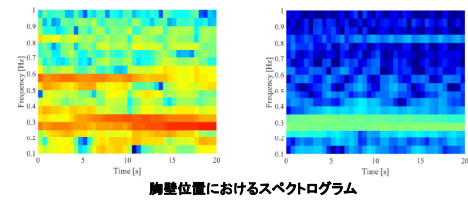


FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave

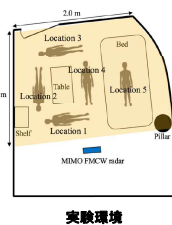
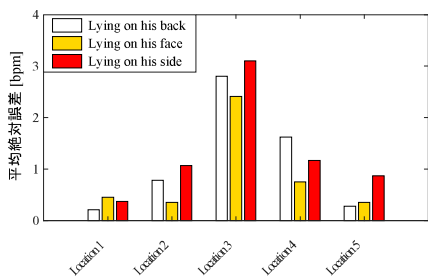
CNN に基づく室内環境における呼吸検出

- MIMO FMCW レーダを用いた呼吸検出
 - 胸壁位置推定
 - ✓ FFT や MUSIC アルゴリズムを MIMO FMCW レーダの受信信号に適用
 - 呼吸検出
 - ✓ 推定した胸壁位置における位相変動を算出
 - ✓ 位相変動を基に呼吸を検出
 - 問題点
 - ✓ 屋外環境と比較し、室内環境ではマルチパスの影響が大きいため、胸壁位置推定は難しい
- CNN に基づく室内環境における呼吸検出
 - MIMO FMCW レーダの受信信号から様々な位置における位相変動を算出
 - 算出した各位相変動からスペクトログラムを算出
 - スペクトログラムを入力して、呼吸数を出力する CNN を基に呼吸数を推定

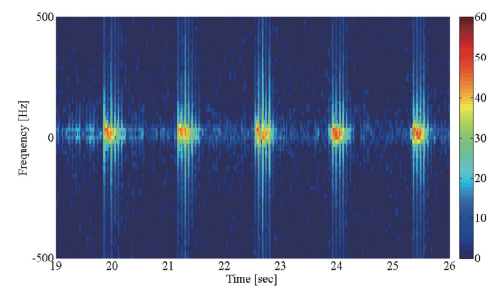
スペクトログラム例



実験結果



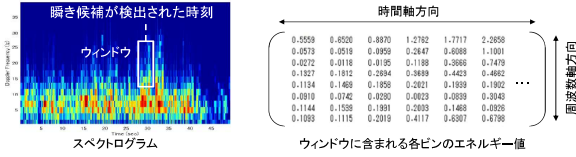
ドップラースペクトル: 瞬き



瞬き検出:ドップラーセンサ

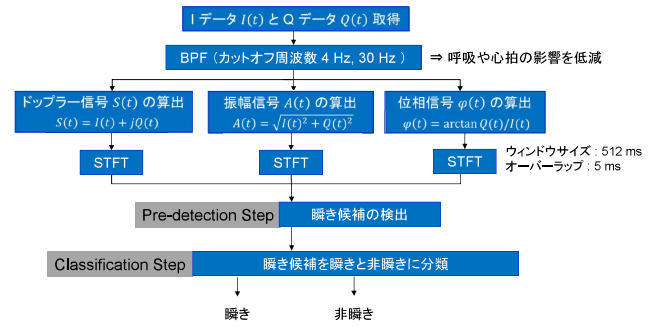
- ドップラー信号及び振幅信号, 位相信号を利用して瞬き候補を検出
- 機械学習を基に, 瞬き候補を「瞬き」と「非瞬き」に分類
 - 特徴量はスペクトログラムから抽出

各周波数帯のエネルギーの相関(共分散行列)

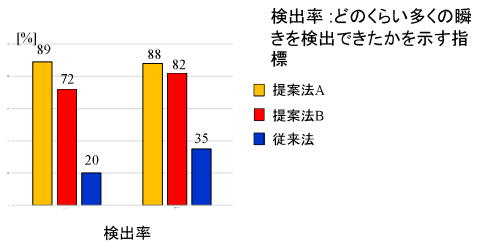


- C. Tamba, S. Tomil, and T. Ohtsuki, IEEE PIMRC 2014
- C. Tamba, H. Hayashi, and T. Ohtsuki, IEEE Globecom 2016
- K. Yamamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE PIMRC 2017
- K. Yamamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE ICC 2018
- K. Yamamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018

瞬き検出:ドップラーセンサ



瞬き検出率



非接触血圧推定

- ドップラーセンサなどから算出される位相信号から大動脈脈波を検出, それに基づき血圧推定

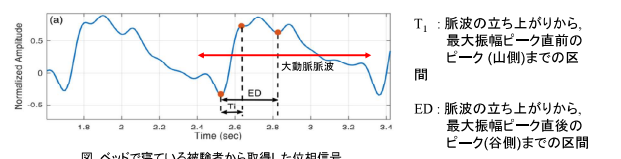


図. ベッドで寝ている被験者から取得した位相信号

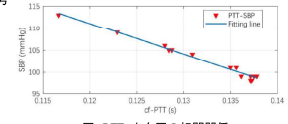
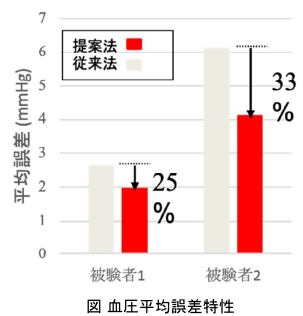


図. PTT_p と血圧の相関関係

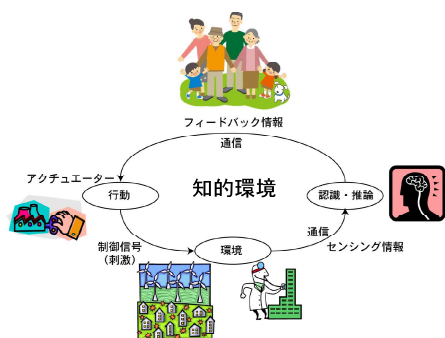
非接触血圧推定



その他: Social Network 解析技術 @大槻研究室

- テキスト・マイニング技術
 - Twitterやレビューの多クラス感情解析・感情量解析
 - 皮肉の意味検出
 - ヘイトスピーチ検出
- 多クラス感情解析・感情量解析ソフトウェア開発
 - SENTA
- チャットボット

- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, BIG DATA MINING AND ANALYTICS, 2019
- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- H. Watanabe, M. Bouazizi, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, IEEE Access 2017



本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 心拍検出システム、心拍検出方法
- 出願番号 : 特願2018-014373
- 出願人 : 慶應義塾大学
- 発明者 : 大槻 知明

お問い合わせ先

慶應義塾大学
研究連携推進本部
TEL 03-5427-1439
FAX 03-5440-0558
e-mail toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp