

レーダセンサ及びブラインド信号源分離に基づく心拍推定

Heart Rate Estimation Based on Radar Sensor and Blind Source Separation

村田 佳斗

Keito Murata

1 はじめに

自動車の運転中に運転者が睡眠、突発的な発作、体調の悪化による意識喪失等に見舞われることは多くの場合致命的な状況となる。そのため、運転中に運転者の状態を何らかの方法で管理することが重要課題の一つとなっている。この課題に取り組むために、本研究では、Fig. 1 に示す運転中の運転者の心拍をレーダ非接触型生体センサアレイ（以後、レーダセンサと呼ぶ）を活用した常時モニタリングシステム（以後、振動測定系と呼ぶ）を取り扱う。しかし、この振動測定系においては、目的としている心拍信号以外にも振動測定系自体のノイズ、運転者の体動、呼吸による体表面変動等の信号も同時に観測されてしまう。本稿では、これらのノイズから心拍信号のみを分離するためにブラインド信号源分離（BSS）[1, 2]を適用し、心拍推定アルゴリズムを用いた心拍推定について検討する。

2 振動測定系と測定条件

2.1 振動測定系

本研究では、Fig. 1 に示す運転中の運転者の心拍をレーダ非接触型生体センサアレイ（以後、レーダセンサと呼ぶ）を活用した常時モニタリングシステムを取り扱う。レーダセンサでは、運転者の体表面の微小変位を測定することができる。また Fig. 2 に示すように、1つのレーダセンサは4チャンネルの異なる指向性レーダで駆動しているため、同時に近傍4点の体表面変位を測定することが可能となっている。

2.2 振動測定条件

計測時間は420 sで、計測開始から60 sは振動は加えていない状態で計測し、その後の300 sは振動を加えた状態、残りの60 sは再度、振動を加えていない状態で計測している。60 s-360 sの間は Fig. 1 に示している振動方向のうち、上下方向に振動を加えている。また振動台の振動の振幅及び周波数は、10 mm 及び 1.2 Hz としている。

また本研究では、分離した信号と比較する参照値を得るために、Zephyr Technology 社の接触型心電図センサ（以後、ECG センサと呼ぶ）Bioharness[3]を用いて可能な限り ECG 信号を取得している。

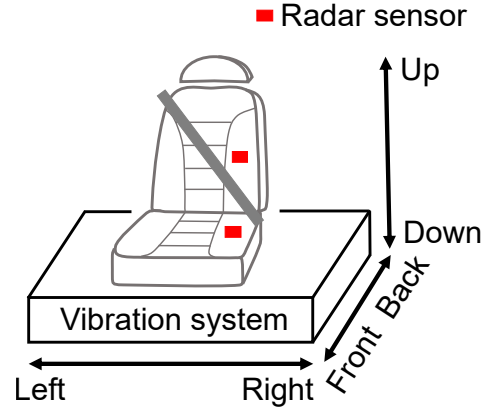


Fig. 1 Vibration measurement system and driver's seat with radar sensors.

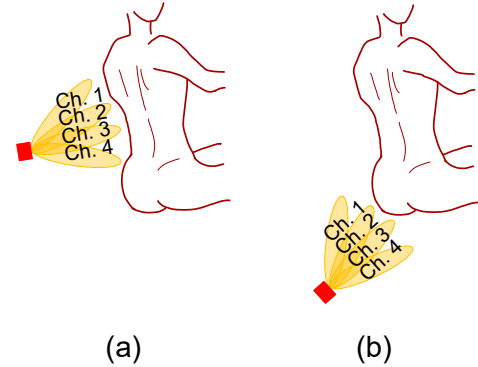


Fig. 2 Beams from radar sensor for measuring (a) back and (b) bottom surfaces of driver's body.

3

3.1 t -ILRMA

近年、複素 Student's t 分布に基づく非負地行列因子分解 (t -NMF) [4] が提案されており、BSS 等の NMF に基づく特定のタスクにおいて Itakura-Saito ダイバージェンスに基づく NMF[5] よりも性能が向上することが報告されている。このことに鑑み、複素 student's t 分布を生成モデルとして仮定する独立低ランク行列分析 (ILRMA) [6, 7] である t -ILRMA が提案された [8, 9]。

3.2 心拍推定アルゴリズム

t -ILRMA を適用することで得られる分離信号に適用する心拍推定アルゴリズムについて説明する．まず，心拍信号の調波構造を強調しつつ低周波成分を除去するために二階微分フィルタを適用する．もう一度調波構造を強調するために半波整流を適用する．さらに，心拍信号が多く存在する帯域である 0.7 Hz–1.4 Hz を通過帯域とする 5 次楕円 IIR バンドパスデジタルフィルタを適用する．最後に，短時間フーリエ変換を適用してスペクトログラムに変換し，振幅スペクトログラムの最大ピークとなる周波数を時間フレーム毎に求めることで，推定心拍を得る．

4 実験結果

呼吸は他の成分よりも相対的に強い成分であるため，前処理としてカットオフ周波数 1.5 Hz とするハイパスフィルタを観測信号に適用する．このハイパスフィルタは，位相歪みが生じない（線形位相特性を満たす）ように FIR デジタルフィルタとして設計している．またフィルタのタップ長（次数）は 170 次である．

Fig. 3 の 3 番目のスペクトログラムより，心拍の高調波成分が 2.5 Hz, 3.5 Hz, 5 Hz, 及び 6 Hz 付近に分離されている．1 番目, 2 番目, 及び 4 番目のスペクトログラムには心拍の高調波成分が見られず，振動台による振動及び呼吸の高調波成分が分離されていることが分かる．

Fig. 3 に対して心拍推定アルゴリズムを適用した心拍推定値を Fig. 4 に示す．振動が加えられた 60 s–100 s では参照値と合致していないが，時間においては参照値と合致していることがわかる．

参考文献

- [1] P. Comon, "Independent component analysis, A new concept?," *Signal Processing*, vol. 36, no. 3, pp.287–314, 1994.

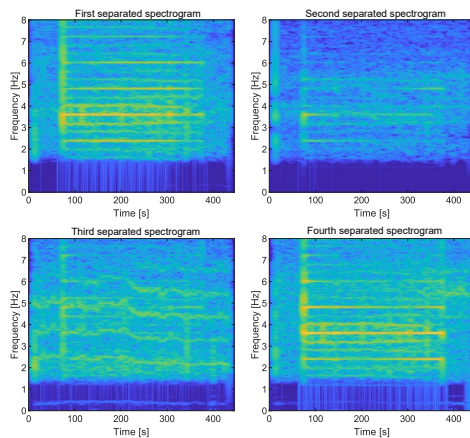


Fig. 3 Spectrograms of separated signal obtained by t -ILRMA, where $p = 1$ and $\nu = 5$ (high-pass-filtered).

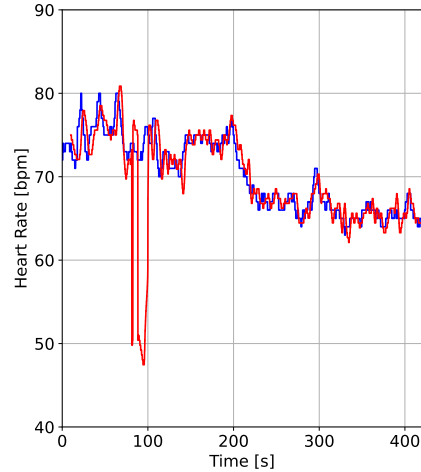


Fig. 4 Third Estimated (red) and reference (blue) heart rates obtained by t -ILRMA, where $p = 1$ and $\nu = 5$ (high-pass-filtered).

- [2] H. Sawada, N. Ono, H. Kameoka, D. Kitamura, and H. Saruwatari, "A review of blind source separation methods: Two converging routes to ILRMA originating from ICA and NMF," *Asia Pacific Signal and Information Processing Association Trans. Signal and Information Processing*, vol. 8, no. e12, pp. 1–14, 2019.
- [3] Zephyr~Technology~Bioharness, <https://www.zephyranywhere.com/media/download/bioharness3-user-manual.pdf>. Accessed 4 January 2022.
- [4] K. Yoshii, K. Itoyama, and M. Goto, "Student's t nonnegative matrix factorization and positive semidefinite tensor factorization for single-channel audio source separation," *Proc. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp.51–55, 2016.
- [5] C. Févotte, N. Bertin, J.-L. Durrieu, "Nonnegative matrix factorization with the Itakura-Saito divergence. With application to music analysis," *Neural Computation*, vol. 21, pp.793–830, 2009.
- [6] D. Kitamura, N. Ono, H. Sawada, H. Kameoka, and H. Saruwatari, "Determined blind source separation unifying independent vector analysis and nonnegative matrix factorization," *IEEE/ACM Trans. Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 24, no. 9, pp. 1626–1641, 2016.
- [7] D. Kitamura, N. Ono, H. Sawada, H. Kameoka, and H. Saruwatari, "Determined blind source separation with independent low-rank matrix analysis," *Audio Source Separation*, S. Makino, Ed., pp. 125–155. Springer, Cham, 2018.
- [8] S. Mogami, D. Kitamura, Y. Mitsui, N. Takamune, H. Saruwatari, and N. Ono, "Independent low-rank matrix analysis based on complex Student's t -distribution for blind audio source separation," *Proc. IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing*, 2017.
- [9] D. Kitamura, S. Mogami, Y. Mitsui, N. Takamune, H. Saruwatari, N. Ono, Y. Takahashi, and K. Kondo, "Generalized independent low-rank matrix analysis using heavy-tailed distributions for blind source separation," *European Association for Speech, Signal and Image Processing Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2018, no. 28, p. 25, 2018.