

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04094

研究課題名（和文）高次統計量を用いる干渉に強い非接触心拍検出システムの開発

研究課題名（英文）Development of robust non-contact heart rate detection system using high order statistics to interference

研究代表者

笹岡 直人（Sasaoka, Naoto）

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：80432607

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ミリ波ドップラーレーダを利用した非接触心拍検出は注目されている。しかしながら、その利用範囲は限定されている。それは、レーダ出力信号に含まれる心拍成分が非常に微弱であり、呼吸高調波、呼吸と心拍による相互変調波、体動、雑音により検出精度が著しく劣化するためである。そこで、本研究ではそれら干渉、雑音成分を抑圧、除去する手法について提案し、実験よりその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーダによる非接触心拍検出において精度劣化の原因となる呼吸高調波、呼吸と心拍による相互変調波、体動、雑音を抑圧、除去する手法として3次統計量の周波数解析であるパースペクトルと適応ノッチフィルタを用いた。パースペクトルや適応ノッチフィルタの新たな利用方法を確立し、信号処理、センサ分野における新たな知見を与えた。また、実用化はされてはいたが利用が広がらなかったドップラーレーダによる非接触心拍検出手法について、その応用範囲が大幅に広がることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：Non-contact heartbeat detection using millimeter-wave Doppler radar has attracted much attention. However, its use is limited. This is because the heartbeat component in the radar output signal is very weak, and the detection accuracy is significantly degraded by respiratory harmonics, intermodulation waves caused by respiration and heartbeat, body motion, and noise. In this study, we proposed a method to suppress and remove these interference and noise components, and confirmed its effectiveness through experiments.

研究分野：デジタル信号処理

キーワード：ミリ波ドップラーレーダ 心拍検出 高次統計量 信号処理 適応ノッチフィルタ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、ミリ波ドップラーレーダを利用した非接触心拍検出は注目されており、人間だけでなく動物に対しても利用されようとしている。基本原理は、心臓の動きにより生じる体表面のわずかな周期的な変化をドップラーレーダにより検出するものである。周期的変動を受信信号から検出するために、従来は自己相関関数、周波数スペクトル、ウェーブレット変換などが用いられてきた。

ドップラーレーダによる非接触心拍検出はすでに実用化もされているが、その利用範囲は限定されている。それは、レーダ出力信号に含まれる心拍成分が非常に微弱であり、呼吸高調波、呼吸と心拍による相互変調波、体動、RF 回路による雑音により検出精度が著しく劣化するためである。

2. 研究の目的

本研究は、主に犬や猫などの小動物を対象として、ミリ波ドップラーレーダを用いる非接触心拍検出について各種干渉、雑音成分に頑強な手法の開発を目的とし、以下の項目を検討する。

- ・バースペクトルを用いた心拍数推定
- ・適応ノッチフィルタを用いた呼吸高調波除去

3. 研究の方法

本研究では、呼吸高調波、相互変調積、雑音による影響を抑えるために、高次統計量であるバースペクトルによる非接触心拍検出を検討する。次に、呼吸高調波及び雑音の更なる抑圧を行うために、適応ノッチフィルタを用いる心拍検出手法について提案、評価した。

(1) バースペクトルを用いた心拍数推定

原理

ドップラーレーダ出力に対して、BPF(Band Pass Filter)を通過させたのち、3次キュムラントを算出する。そして、2次元FFT(Fast Fourier Transform)を適用することによりバースペクトルを得る。このとき、バースペクトルは2つの周波数(f_1, f_2)の成分とそれら周波数の和($f_1 + f_2$)で表わされる成分の相関である。従って、3つの成分が独立である場合、バースペクトルは零となる。一方、それらの成分の生成過程が同じである場合、バースペクトルは高い値となる。そのため、BPFにより心拍成分の主要帯域に制限された信号のバースペクトルは、呼吸成分や相互変調積成分が抑圧され、心拍数推定精度が改善される。

実験結果

本手法の有効性を確認するため実験を行った。被験者は5名である。なお、本実験は、鳥取大学工学部非医学系研究倫理審査の承認を受けている(No. R4-5)。性能評価には、RMSE(Root Mean Square Error)を用いた。図1に提案手法と各種従来手法の性能評価を示す。提案手法(1D: 演算量削減手法及び2D)は他の手法と比較して大幅に性能改善していることが確認される。

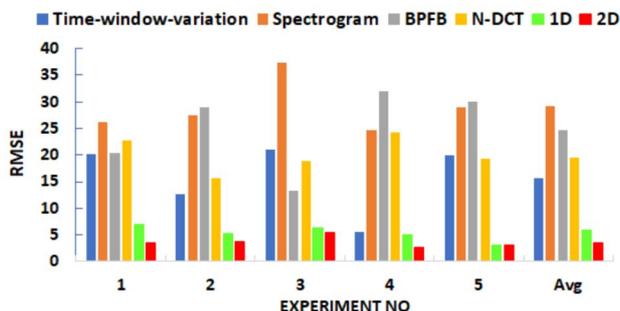


図1 バースペクトルによる心拍検出評価結果[1]

(2) 適応ノッチフィルタによる呼吸高調波除去

原理

バースペクトルを用いることにより心拍数推定精度が改善することが確認された。しかしながら、呼吸高調波成分の低減が不十分である場合がある。そこで、適応ノッチフィルタにより呼吸数を推定し、それに応じて呼吸高調波を除去するフィルタを適用する手法を提案した。提案構成を図2に示す。

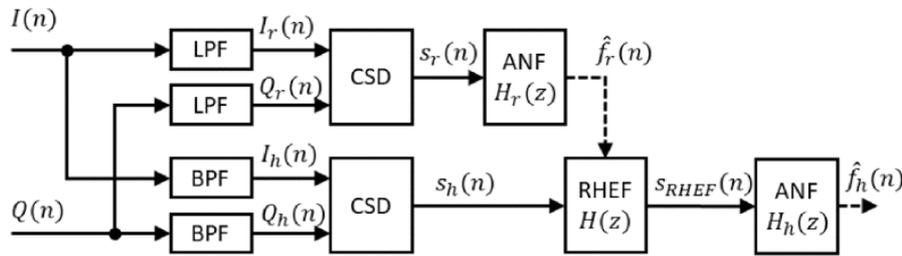


図2 呼吸高調波除去フィルタを用いる心拍数推定システム[2]

実験結果

本手法の有効性を確認するため実験を行った。対象を一匹の犬とし、日を変えて7回測定した。なお、本実験は、鳥取大学動物実験の承認を受けている（承認番号：19-T-4）。性能評価には、MAPE(Mean Absolute Percentage Error), MAE(Mean Absolute Error), MSE(Mean Square Error), RMSE(Root Mean Square Error)を用いた。表1に提案手法と各種従来手法の性能評価を示す。提案手法は他の手法と比較して大幅に性能改善していることが確認される。

表1 心拍検出評価結果[2]

Evaluation Index	Trial No.	Auto-correlation	FFT	CWT	TWV	Spectrogram	BPFB	N-DCT	Proposed Method
MAPE	1	27.08	19.14	39.26	21.54	28.66	43.82	50.27	11.42
	2	16.21	30.77	50.27	15.37	36.45	53.04	48.19	6.10
	3	23.16	18.83	35.63	20.85	29.91	45.14	48.76	6.00
	4	21.16	26.35	45.87	17.66	32.93	49.47	48.20	6.08
	5	26.78	19.89	36.87	23.16	29.91	44.38	49.89	8.43
	6	18.93	28.81	47.46	16.75	35.05	50.96	48.08	5.92
	7	21.74	26.09	44.82	18.53	31.91	48.25	49.17	5.34
	Average	22.15	24.27	42.88	19.13	32.12	47.86	48.94	7.04
MAE	1	36.46	26.53	54.14	29.25	39.67	60.41	68.84	15.17
	2	26.06	49.61	81.37	24.79	59.31	85.96	77.70	10.03
	3	32.34	26.82	50.41	28.98	42.38	63.70	68.57	8.44
	4	31.48	40.22	69.99	26.43	50.99	75.77	73.19	9.36
	5	35.56	27.41	50.34	30.81	41.02	60.81	67.54	11.58
	6	29.45	45.17	74.28	26.02	55.33	80.11	75.27	9.48
	7	31.85	39.07	67.16	27.19	48.13	72.35	73.14	7.89
	Average	31.89	36.40	63.96	27.64	48.12	71.30	72.04	10.28
MSE	1	1523.7	1015.2	3164.9	1224.5	2153.9	3781.1	4991.9	331.06
	2	1066.2	3118.6	6790.2	1303.9	4411.3	7511.5	6795.2	147.96
	3	1256.4	1062.3	2910.2	1173.7	2427.3	4157.9	5039.3	106.56
	4	1276.8	2058.8	5159.3	1248.3	3480.9	5931.8	5909.6	131.47
	5	1536.9	1060.5	2785.2	1237.5	2291.4	3871.7	4878.3	200.47
	6	1151.7	2527.8	5714.0	1276.5	3902.3	6529.2	6279.0	143.41
	7	1269.1	1960.6	4769.4	1222.2	3099.9	5393.2	5776.5	96.11
	Average	1297.2	1829.1	4470.4	1240.9	3109.5	5310.9	5667.1	165.31
RMSE	1	39.04	31.86	56.26	34.99	46.41	61.49	70.65	18.20
	2	32.65	55.84	82.40	36.11	66.42	86.67	82.43	12.16
	3	35.45	32.59	53.95	34.26	49.27	64.48	70.99	10.32
	4	35.73	45.37	71.83	35.33	59.00	77.02	76.87	11.47
	5	39.20	32.56	52.78	35.18	47.87	62.22	69.84	14.16
	6	33.94	50.28	75.59	35.73	62.47	80.80	79.24	11.98
	7	35.62	44.28	69.06	34.96	55.68	73.44	76.00	9.80
	Average	35.95	41.83	65.98	35.22	55.30	72.30	75.15	12.58

4. 研究成果

本研究において得られた成果を下記に挙げる。

- ・バイスペクトルを用いることにより呼吸成分の抑圧が可能となるとともに、呼吸成分と心拍成分による相互変調積成分の抑圧が可能となることが新たに判明した。
- ・呼吸高調波除去フィルタ及び適応ノッチフィルタによる心拍周波数推定システムにより従来手法と比較して心拍数推定精度が改善した。

本研究で開発した手法はいずれも十分な精度が得られており、実環境において有用な非接触心拍検出システムを実現した。

< 引用文献 >

- [1] Moushumi Tazen, and Naoto Sasaoka, "Non-Contact Heart Rate Measurement Based on One-dimension Bispectrum Estimation," Proc. 2023 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, pp. 144-147, Aug. 2023, doi:10.34385/proc.77.RS4-5.
- [2] Moushumi Tazen, Naoto Sasaoka, and Yoshiharu Okamoto, "Non-Contact Heart Rate Measurement Based on Adaptive Notch Filter and Elimination of Respiration Harmonics," IEEE Access, vol. 11, pp. 46107-46119, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3272895.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tazen Moushumi, Sasaoka Naoto, Okamoto Yoshiharu	4. 巻 11
2. 論文標題 Non-Contact Heart Rate Measurement Based on Adaptive Notch Filter and Elimination of Respiration Harmonics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 46107 ~ 46119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2023.3272895	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Moushumi Tazen, Naoto Sasaoka	4. 巻 1
2. 論文標題 Non-Contact Heart Rate Measurement Based on One-dimension Bispectrum Estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia 2023	6. 最初と最後の頁 144 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.77.RS4-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤田夏清, 笹岡直人, モッシュュミ タゼン, 岡本芳晴
2. 発表標題 ドップラーレーダを用いた非接触心拍数推定におけるLSTMの導入
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ伝搬研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moushumi Tazen, Naoto Sasaoka, Kasumi Fujita, Yoshiharu Okamoto
2. 発表標題 Non-Contact Heart Rate Measurement based on Bispectrum
3. 学会等名 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本庄巧実、笹岡直人
2. 発表標題 ALEを導入した適応ノッチフィルタの周波数推定精度改善に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡本 芳晴 (Okamoto Yoshiharu) (50194410)	鳥取大学・農学部・教授 (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------