

A Novel Non-contact Heart Rate Estimation Method Based on Temporal and Spectral Sparseness of Heartbeat Signal

August 2019

Chen Ye

主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第 号	氏 名	葉 臣
<p>主 論 文 題 名 :</p> <p>心拍信号の時間および周波数領域のスパース性に基づく新たな非接触型心拍数推定法</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年、情報通信技術に基づくスマートヘルスケアの実現が期待されている。特に、心拍数 (HR: Heart Rate) の変動は、健康状態および精神状態を評価するための指標として用いられている。HR モニタリングは、心血管疾患や高血圧の初期検出をはじめとする様々な分野で需要が高まっている。その際、装着型センサによる心拍検出はユーザへの負担が大きいため、HR 変動をセンサを装着せずに検出することが望ましい。そのため、ドップラーレーダを用いた非接触心拍検出法が注目されている。ドップラーレーダを用いた非接触型 HR モニタリングにおいて、呼吸および体動に起因する雑音は HR 推定精度を劣化させる要因である。</p> <p>本稿では、ドップラーレーダの受信信号における雑音の影響を低減するため、心拍信号の時間領域および周波数領域のスパース性を考慮したブラインド信号源分離 (BSS: Blind Source Separation) およびスパーススペクトル再構成 (SSR: Sparse Spectrum Reconstruction) の 2 つの手法を提案する。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。</p> <p>第 2 章では、心拍検出の関連研究、および従来法の欠点をまとめ、本研究のモチベーションを述べている。</p> <p>第 3 章では、提案法では、適応アルゴリズム ZA-SLMS (Zero-attracting Sign Least-mean-square) を導入することで、SSR を用いて高解像度の心拍スペクトルを再構成する。適応アルゴリズムの目的関数の勾配の量子化および更新スペクトルにスパース制約を課すことで、より高精度に心拍スペクトルは再構成される。さらに、体動の大きさによらず高精度に HR を推定するために、適応正規化パラメータを ZA-SLMS アルゴリズムに導入し、勾配降下とスパース制約の割合を適応的に調整する。また、時間窓幅がある程度に変わっても HR は相対的に安定的である</p>			

ことをふまえて、時間窓幅変化技術を改良型 ZA-SLMS アルゴリズムに導入する。従来法と比較し、SSR による提案法がより正確な心拍推定結果を得ることを確認した。

第 4 章では、また、階層的クラスタリングによる基底スペクトルの学習を通し、提案 BSS 法では非負値因子分解 (NMF: Non-negative Matrix Factorization) アルゴリズムを用いて、混合レーダ信号のスペクトログラムから心拍を含む源信号を分離する。特に、心拍成分の時間領域のスパース性を利用するため、2 つのスパース制約を持つ NMF アルゴリズムのバリエント、つまりスパース NMF (SParse NMF) および加重 SPNMF (Weighted SPNMF) を適用する。第 3 章の SSR による提案法と比べ、NMF による提案法はさらに正確な心拍推定結果を得ることを達成した。

第 5 章は結論であり、本研究の総括を述べている。

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Chen Ye
Thesis Title			
<p>A Novel Non-contact Heart Rate Estimation Method Based on Temporal and Spectral Sparseness of Heartbeat Signal</p>			
Thesis Summary			
<p>Heartbeat is one of significant vital signs, and the monitoring of heart rate (HR) enables detecting the disorders of human health. In the past decades, many wearable sensors like electrocardiography (ECG) and photoplethysmography (PPG), have been applied to detect heartbeat based on information and communication technology (ICT). However, wearable devices are unsuitable in some situations, due to the additional burden on subjects. In contrast, non-contact heartbeat detection via Doppler radar realizes remote monitoring, which avoids violation of privacy and disturbance of light and ambient temperature over camera and passive infrared (PIR). In non-contact heart rate (HR) monitoring via Doppler radar, the disturbances from respiration and/or body motion is treated as a key problem in the estimation of HR.</p> <p>To date, numerous methods on non-contact measurement of human's heartbeat movements have been developed. The limitations of the existing detection methods, i.e., the low robustness to motion artifacts (MA) and the extra demand for continuous parameter regulation, imply that they are not ideal candidates for heartbeat detection in a number of circumstances where subjects' movements happen frequently.</p> <p>This thesis first proposes a sparse spectrum reconstruction (SSR) approach to mitigate the noise in received Doppler signal, by taking into account the spectral sparseness of heartbeat. Furthermore, a blind source separation (BSS) approach is further proposed to achieve better extraction of heartbeat in time domain, utilizing its temporal sparseness, incorporating the proposed SSR approach. The proposed noncontact heartbeat detection method is both provided with stability and convenience of use. In addition, the HR estimation method using our proposal delivers more satisfactory precision and robustness over other existing methods, which is demonstrated through measurements under various conditions, gaining both smallest absolute errors of HR estimation for sitting still and typewriting.</p> <p>In Chapter 1, the background of HR estimation using Doppler radar, some typical existing approaches, and the two proposed approaches of SSR and BSS, are introduced in turn.</p> <p>In Chapter 2, as related works to our proposal, the existing methods for heartbeat detection and their limitations, and motivations are elaborated.</p> <p>In Chapter 3, the stochastic gradient approach is applied to reconstruct a high-resolution spectrum of heartbeat, by proposing the zero-attracting sign least-mean-square (ZA-SLMS) algorithm. To correct the quantized gradient of cost function, and penalize the sparse constraint on the updating spectrum, more accurate heartbeat spectrum is reconstructed. To better adapt to the noises with different strengths caused by</p>			

subjects' movements, an adaptive regularization parameter (AREPA) is introduced in the ZA-SLMS algorithm as an improved variant, which can adaptively regulate the proportion between gradient correction and sparse penalty. Moreover, in view of the stability of location of spectral peak associated with HR when the size of time window slightly changes, a time-window-variation (TWV) technique is further incorporated in the improved ZA-SLMS (IZA-SLMS) algorithm, for more stable HR estimation.

In Chapter 4, the proposed BSS decomposes the spectrogram of mixture signal into original sources including heartbeat using non-negative matrix factorization (NMF) algorithms, through learning the complete basis spectra (BS) by a hierarchical clustering. Moreover, to exploit the temporal sparseness of heartbeat component, two variants of NMF algorithms with sparseness constraints are applied as well, namely sparse NMF (SPNMF) and weighted sparse NMF (WSPNMF). In particular, over the uniform sparseness constraint of SPNMF algorithm, the WSPNMF algorithm further penalizes weighted sparseness constraints on each updating estimated signal, focusing on the evident difference of sparseness between heartbeat and other sources in time domain.

In Chapter 5, our proposal on HR estimation via Doppler radar, i.e., the SSR approach acting on heartbeat spectrum reconstruction and the BSS approach functioning in extraction of heartbeat component, is concluded. Finally, some possible research directions are discussed based on specific applications.