

脈波の位相を利用した脈拍数計測法の検討

Examination of pulse rate measurement using phase of photoplethysmography

○ 前野創一 (千葉大) 前田祐佳 (千葉大) 関根正樹 (千葉大) 田村俊世 (千葉大)

Soichi MAENO, Chiba University
Masaki SEKINE, Chiba UniversityYuka MAEDA, Chiba University
Toshiyo TAMURA, Chiba University

Abstract: This study examined pulse rates measurement method with elimination of the motion artifact using a pulse wave velocity. When body movement occurs, capacity of the blood vessel change happens and has an influence on the photoplethysmography (PPG) signal. To solve this problem, we produced a reflected-light green PPG sensor having two photodetectors which located adjacently. We assume the adjoint sensors were influenced the same artifact, but PPGs have a phase difference. Therefore it is thought that the detection of the pulse rate is possible because artifacts are removed by calculate the difference of two PPG signals. Eight young healthy subjects without any indication of peripheral circulatory failure were recruited to participate in the experiment. We attached the PPG sensor to a wrist, and performed jumping to produce artifacts. As a comparison result with heart rate, pulse interval calculated by this method was higher precision than calculated by single PPG.

Key Words: Photoplethysmography, Wearable sensor, Green light, Motion artifact, Pulse rate

1. はじめに

ウェアラブル機器は拘束性が非常に低く、非侵襲で生体情報が得られるため、近年普及している。中でも特に心拍数はその変動に自律神経系の状態が含まれていたり⁽¹⁾、運動中に計測することで運動強度の確認が可能であるなど、計測することで多岐に渡る利用方法がある。

現在では既に腕時計型の心拍数計が市販されている。しかし、経時的な心拍数を計測するタイプの製品は胸に心電図誘導用のバンドを締める必要があるため取り付けが煩わしく、バンドが不要なタイプの製品は腕時計に内蔵されたセンサに触れている時の心拍数しか計測できない。

一方光電脈波は、発光部と受光部が隣接して対あれば心臓の拍動に対応した周期的な信号を得ることが出来る。したがって、この周期を計測することで腕部のみで心拍数を推定することが可能である⁽²⁾。しかし、光電脈波はセンサのズレや体動に伴う計測部位の血液量変化によって波形が乱れやすく、運動時は脈拍数を正確に計測することが困難である。そこで本研究では、脈波の伝搬速度に着目して体動アーチファクトの影響を低減させる手法について検討を行った。

2. 実験

2-1 計測項目

緑色 LED (NSCG100A, 日亜化学工業, ピーク波長 525[nm]) の両側にフォトダイオード (S9067-101, 浜松ホトニクス, ピーク波長 560[nm], 以下 PD) を LED-PD 間隔 3.4[mm] で配置した緑色反射形光電脈波センサを自作し右手首にテープで固定しカフ (SS19L, BIOPAC) を用いて圧力 30[mmHg] で加圧し脈波計測を行った。また、電極を 3 点誘導法第 II 誘導により胸部に取り付けて心電図をテレメータ心電計 (BIOVIEW2000, NEC) を用いて計測した。計測した脈波と ECG は A/D 変換ボード (NI USB-6211, National Instruments) を用いてサンプリング周波数 5120[Hz] にて PC に取り込み Labview (Labview2009, National Instruments) を使用して信号集録を行った。

2-2 計測方法

末梢循環障害のない健常若年成人 8 名 (22.5 歳 ± 0.9 歳)

を対象に行い、立位においてアーチファクトを生じさせる運動として指先を鉛直方向に保った状態で跳躍動作を 5 秒おきに行い、2 分間続けて合計 24 回の跳躍を行った。なお本実験は当該倫理委員会の承認を受け、全ての被験者からインフォームドコンセントを得て実施した。

2-3 アルゴリズム

脈波には伝搬速度があるため、腕部の動脈で計測すると体幹側での脈波 $S_1(t)$ に対して末梢側での脈波 $S_2(t)$ は同じ波形で遅れ位相となる。一方で体動によるアーチファクトは、2 つの脈波センサが近傍にあればほぼ同様に重畳するため、体幹側でのアーチファクト n_1 と末梢側でのアーチファクト n_2 は $n_1 \approx n_2$ となる。したがって、体幹側の信号と末梢側での信号の差分を取ると $(S_1(t) + n_1) - (S_2(t) + n_2) \approx dS$ となるので、この dS を積分することでアーチファクトが除去された脈波 $S(t)$ が得られると考えられる。Fig. 1 に隣接した 2 つの脈波センサから得られた 2 つの脈波信号 PPG_{o1} , PPG_{o2} に対して適用した解析アルゴリズムを示す。計測によって得られたこれらの脈波に対して 0.8-5[Hz] のバンドパスフィルタを適用してノイズを除去し脈波波形 PPG_{oif} , PPG_{of} が得られる。これらの差分を計算した波形を $dPPG$ とし、 $dPPG$ を積分した波形 PPG_{anf} に 0.8-3[Hz] のバンドパスフィルタを適用することで体動アーチファクトが除去された波形 PPG_{anf} が求められる。算出された PPG_{anf} と差分を計算する前の脈波 PPG_{oif} からそれぞれ脈波間隔 PPI_{an} , PPI_o を求め、ECG から求めた RRI に対する誤差率をそれぞれ求めた。

3. 結果

計測した ECG と、計測した 2 つの脈波から Fig. 1 のアルゴリズムによる解析で得られた PPG_{oif} , PPG_{of} , $dPPG$, PPG_{anf} の典型例を Fig. 2 に示す。また経時的な RRI , PPI_o , PPI_{an} を Fig. 3 に示し、その中で跳躍時に RRI に対する PPI_o , PPI_{an} の誤差率が 20% を超えた回数を Table 1 に示す。Fig. 2 より、差分して積分を行った波形では元の脈波にあった跳躍時の波形の乱れが軽減されていることがわかる。Fig. 3 では信号処理を行った脈波で求めた脈波間隔 PPI_{an} の方が元の波形から求めた脈波間隔 PPI_o より心電図の R-R 間隔

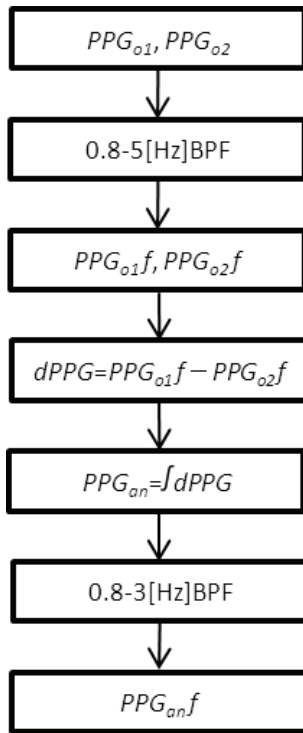


Fig.1 flow chart

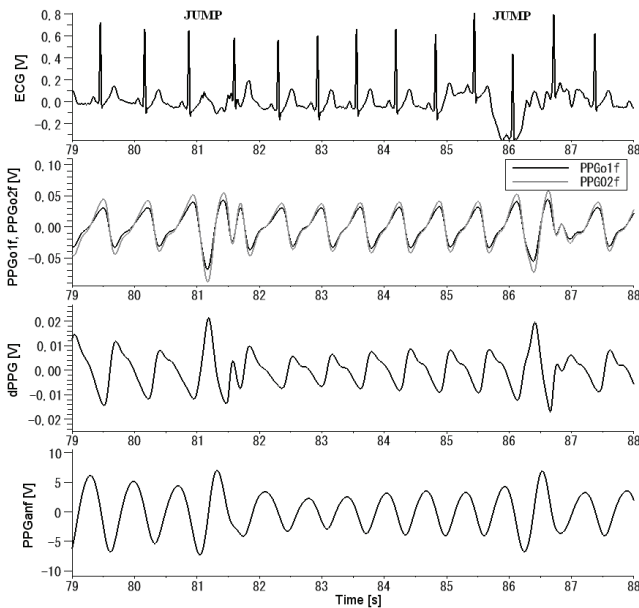


Fig. 2 A typical example of ECG, PPG and analyzed PPG

RRIに近い値となっていることがわかる. また Table 1 より, 被験者 8 名中 5 名において跳躍時の体動アーチファクトが改善されたことがわかる.

4. 考察

提案したアルゴリズムを用いることで, 多くの被験者において体動アーチファクトによる脈波波形の乱れを改善し脈拍数の検出精度を向上させることができた. これより提案したアルゴリズムは体動アーチファクトの低減に有用であることが示唆された.

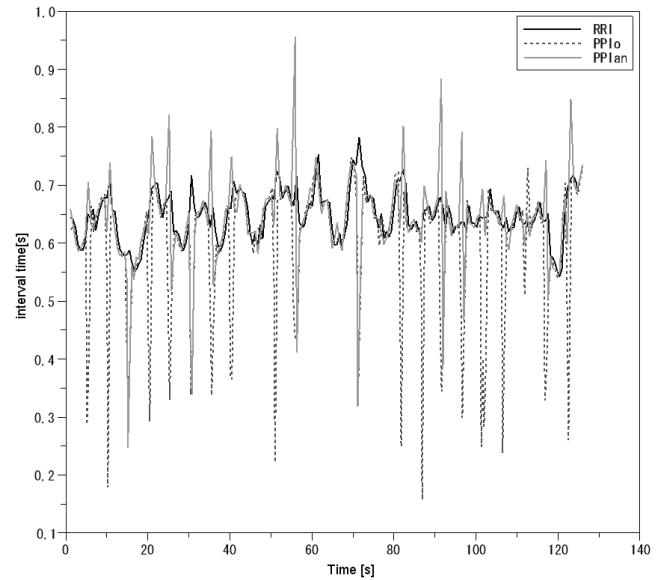


Fig. 3 A typical example of RR interval and pulse intervals

Table 1 Number of times that error rate became more than 20% in jump

Subject	Number of times that error rate became more than 20% in jump	
	PPI_o	PPI_{an}
1	19	9
2	11	11
3	23	18
4	12	6
5	24	12
6	21	9
7	18	17
8	17	22

アルゴリズム適用による誤差率の改善が確認できなかった被験者#2, #7, #8 については, 計測した 2 つの脈波波形の跳躍時における振幅の変化がそれぞれ異なるという結果が見られた. このことからアーチファクトが同様に重畳しなかったことが原因で差分による改善が出来なかったと考えられる.

また, 本研究で提案したアルゴリズムでの処理はフィルタ, 差分, 積分のみである. そのためアナログフィルタ, 差動回路, 積分回路といったアナログ回路で構成することも可能であると考えられる. したがって本実験の結果から運動時のリアルタイムでの心拍数計測法として有用であることが示唆された.

参考文献

- (1) Ori Z, Monir G, Weiss J, Sayhouni X, Singer DH, Heart rate variability frequency domain analysis, *Cardiol Clin.*, vol. 10, no. 3, pp. 499-537, 1992.
- (2) Maeda Y., Sekine M., Tamura T., Relationship between measurement site and motion artifacts in wearable reflected Photoplethysmography. *J. Med. Sys.* 2010, to be published. (Online First) (DOI: 10.1007/s10916-010-9505-0)