

〈一般研究課題〉 介護・医療・見守りのためのドップラーセンサ
非接触生体計測の広範囲化および性能実証実験
助成研究者 愛知県立大学 神谷 幸宏



介護・医療・見守りのためのドップラーセンサ 非接触生体計測の広範囲化および性能実証実験

神谷 幸宏
(愛知県立大学)

Development on Non-Contact Vital Sensing Using a Doppler Sensor for Expanding the Range and Experiments

Yukihiro Kamiya
(Aichi Prefectural University)

Abstract :

Non-contact vital sensing is drawing attentions since it does not need to put electrodes on body surfaces. Therefore, it is expected to be applied for the monitoring of vital signs such as heartbeats and respirations of the elderly. Doppler sensor is a device which enables us to realize the non-contact vital sensing. It radiates a microwave and the wave is reflected by a human body. The Doppler sensor receives the reflected wave so that we can obtain the output voltage of the device which is in proportion to the frequency deviation between the radiated- and the received waves. Since the frequency deviation is a function of the distance between the sensor and the body, we can estimate the vital signs such as heartbeats and respirations. This is because a body surface is slightly moving due to the heartbeats and the respirations.

Although the non-contact vital sensing is attractive, the distance between the sensor and the target body is limited since the output power of the radiation is limited by the radio regulations. In this research, we will develop several methods in order to extend the distance. The performance is verified through computer simulations and experiments.

1. はじめに

心拍・呼吸といったバイタルサインの計測は、近年さまざまな分野で重要となり、注目されてい

る。代表的な応用先として、介護や医療がある。介護施設の入所者や病院に入院中の患者の心拍・呼吸を常にモニタリングして異常を早期に発見することの重要性は論を待たない。また、そのような場所以外で、たとえば一般家庭でも、幼児や老人の見守りは重要である。

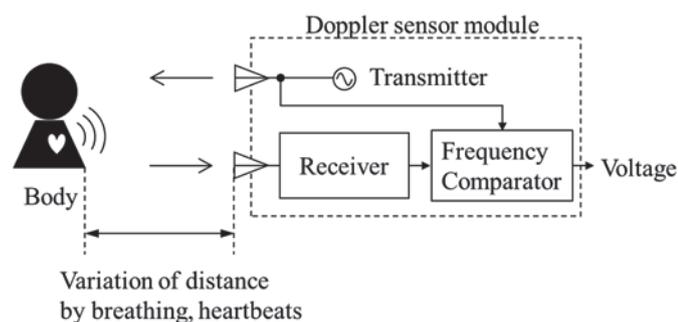


図1 ドップラーセンサの構成

心拍・呼吸の計測を行うにあたり、ドップラーセンサを用いる方法が知られている^[1]。ドップラーセンサを用いることで、人体に電極やセンサを取り付けることなく心拍・呼吸の計測が可能となるため、被測定者の負担がなく、常時モニタリングが容易になる。また、カメラによるモニタリングと異なり、プライバシー侵害の心配もない。

ドップラーセンサは図 1 に示すように人体に微弱な電波を照射し、反射して戻った電波と周波数を比較して差を調べ、その周波数差に比例した電圧を出力するデバイスである。この周波数差はセンサと人体との間の距離に関係している。この距離は、体表面が心拍・呼吸により動いているため、わずかに変化する。したがって、ドップラーセンサ出力電圧の変化から心拍と呼吸を信号処理によって検出することができる。

本研究では、ドップラーセンサモジュールは市販のものを使用するが、出力電圧に対する信号処理に新しい方法を提案したり、その他の比較的簡単な工夫したりすることによって次のような項目を実現し、性能を検証する。

- (1) 測定可能距離の延伸 1 : アルミ箔の利用^[2]
- (2) 測定可能距離の延伸 2 : 複数のドップラーセンサを統合利用する信号処理の実現^[4]
- (3) 複数対象の同時計測^[6]

上記 3 項目の研究成果を以下にまとめる。

2. 測定可能距離の延伸 1 : アルミ箔の利用^[2]

市販のドップラーセンサを用いて非接触生体計測を行うとき、正確な計測ができる距離は長くはない。着衣などの条件によるものの、最長で 1~2m 程度と言われている。この距離を伸ばすことができれば応用先を広げられるものと考えられ、測定距離の延伸という課題はシンプルであるが重要である。

もっとも簡単な解決策として、被験者の着衣にアルミ箔をつけることで測定距離の延伸を行えないかを考え、その効果を実験的に確認した。アルミ箔をつけると、人体や着衣よりも電波をよく反射するため、ドップラーセンサが受信できる電波の電力があがり、結果として測定距離の延伸が期待できる。

そのイメージを図 2 に示す。同図に示すように、シャツの裏側に 15cm×12cm の大きさの長方形のアルミ箔を貼り付ける。このようにしたシャツを着用して図 3 に示すような実験を行う。これに

より、センサと人体との間の距離を変化させながら測定可能性を探る。また、呼吸はメトロノームに意識的に合わせて行い、この実験では正解



図2 着衣へのアルミ箔の装着.

がわかるようにする。その呼吸の周期は4秒である。また、信号処理としてARS^[3]を用いる。そして、測定距離を変化させながら呼吸周期を推定し、真値である4秒と測定値の差の絶対値を明らかにした。その結果を表1に示す。

距離1mではアルミ箔あり・なしの場合で差がないが、2mではアルミ箔がある場合の方が、ない場合よりも誤差が少ない。これは、反射波の電力が下がり、雑音対信号電力比(SN比)が低くなったことに起因するものと考えられる。さらに距離を3mとした場合、アルミ箔なしの場合では測定ができなかった。

こうした結果から、アルミ箔を着衣に貼り付けることにより延伸効果が得られることが明らかとなった。

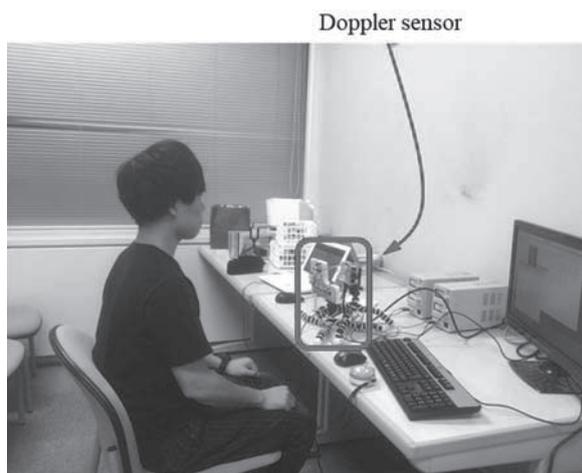


図3 ドップラーセンサ計測実験

表1 実験結果

	1.0 [m]	2.0 [m]	3.0 [m]
アルミ箔なし	0.05 [sec]	1.19 [sec]	
アルミ箔あり	0.05 [sec]	0.12 [sec]	1.85 [sec]

3. 測定可能距離の延伸2：複数のドップラーセンサを統合利用する信号処理の実現^[4]

測定可能距離を延伸する方法の第2として、複数のドップラーセンサを統合して利用する信号処理方式を提案した。そのイメージを図4に示す。このように複数のドップラーセンサを用いて、その出力をSN比が最大となるように合成する信号処理を行うことで、市販のドップラーセンサモジュールを用いながら測定距離を延伸することが可能となる。

しかし、2つのドップラーセンサモジュールを使うと、次の2つの問題がある。第1は、ドップラーセンサごとの送信機が独立しているため、わずかな周波数差と位相差が、それぞれのドップラーセンサ送信信号に生じることである。第2は、2つのドップラーセンサの位置が異なるため、

受信信号の電力と位相が異なることである。このため、2つのドップラーセンサから得られたそれぞれの出力信号を単に足し算するだけではSN比が最大化されない。

SN比を最大化するための合成方法は、ワイヤレス通信の分野では様々な方法が知られている^[5]。しかし、それらの多くはトレーニング信号と称する既知の信号波形を必要とする。すなわち、ワイヤレス通信では送信機が送信する信号の中にあらかじめ決められた信号波形を一定間隔で挿入しておき、受信機はそれを検出して通信路の状態を推定し、SN比を最大にする合成を行うのである。しかし、そうしたことは特に市販のドップラーセンサを用いる場合には困難である。

そこで本研究では、CMAアルゴリズム^[5]に工夫を加えた新しい構成を提案し、計算機シミュレーションによりその性能を評価した。図5に受信SN比に対する推定成功率を示す。ドップラーセンサを1つ使った場合と2つ使った場合で、特に低いSN比の領域で推定成功率が改善し

ていることがわかる。このことは、SN比が低くなる環境の一つである、測定距離が長い環境において信号処理のちからによって測定を可能にできることを示している。

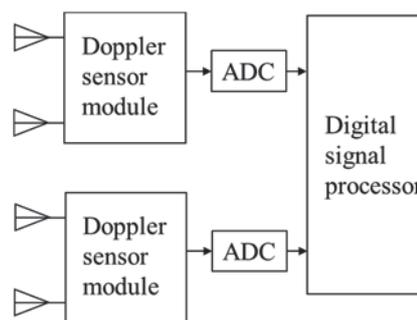


図4 複数のドップラーセンサの統合利用

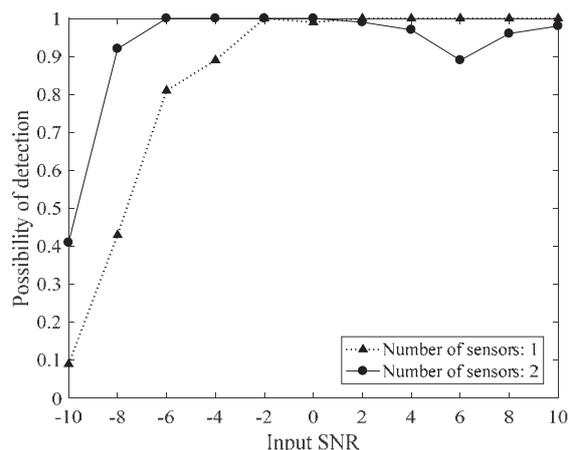


図5 シミュレーション結果

4. 複数対象の同時計測^[6]

前章までの研究では、測定対象は一人であった。しかし、本研究で提案したアルゴリズムARSやLARSを使うと、複数の対象を同時に測定することが可能となる。これは、提案手法ARSが高い時間分解能を実現するためである。この研究において、その効果を実験的に確認した。ただし、いきなり実験対象として本物の人間を使うと、正解として正しい呼吸周期がわからない。このため本研究では本物の人体の代わりに模擬人体と称する実験用の機器を用いて周期推定を検証した。

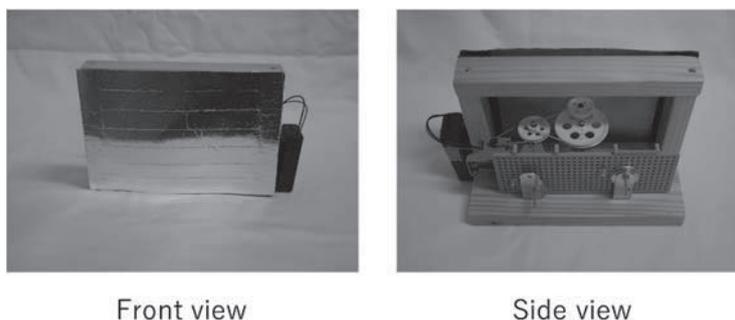


図6 模擬人体の外観

図6に模擬人体の外観を示す。模擬人体は、表面にアルミ箔を貼り、そのアルミ箔をうしろからモーターで駆動されたプーリーによって周期的に押す仕組みである。これによって体表面の変動をシミュレートする。

こうした模擬人体を2台用意し、図8のようにセットする。これをARSで処理した結果を図7に

示す。この実験では、2つの模擬人体の周期をずらして、別々のタイミングでモーターの電源をオン・オフしている。この図7では、横軸に振動周期、縦軸に時間をとっている。0.3秒付近にあるのが模擬人体1であり、0.5秒周期にあるのが模擬人体2の振動である。模擬人体の電源を断続的にしているため、測定結果も断続的となっていることがわかる。また、それぞれの模擬人体の動作スピードを少しずつ遅くしているため、時間の経過とともに振動周期が長くなっていく様子もとらえられている。こうした様子がとらえられていることがわかる。このように、複数の対象の振動の変化を同時計測する試みは世界的にも例を見ない。

5. あとがき

本研究では、ドップラーセンサによる非接触生体計測の応用先を拡大することを目指し、3つの課題、すなわち(1)測定可能距離の延伸1：アルミ箔の利用、(2)測定可能距離の延伸2：複数のドップラーセンサを統合利用する信号処理の

実現(3)複数対象の同時計測、の検討を行った。アルミ箔という外部的な対策によるものと、信号処理という内部的な対策による両面から、測定距離延伸の可能性を明らかにした。当然ながら、これらの両方を同時に用いることによって、さらなる測定距離延伸効果が期待できる。また、新しい信号処理ARSにより複数の対象を同時計測できることを実験的に明らかにした。

今後はARSを実装したField Programmable Gate Array (FPGA)の開発を行い、低消費電力化を実現してIoTとしての実現を目指す予定である。

参考文献

- [1] C. Li, V. M. Lubecke, O. Boric-Lubecke, and J. Lin, "A Review on Recent Advances in Doppler Radar Sensors for Noncontact Healthcare Monitoring", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 61, No. 5, May 2013.
- [2] 高尾 良太, 宮嶋 千織, 近藤源, 神谷幸宏, “ドップラーセンサによる非接触計測距離の延伸する対策の提案”, 自動制御連合講演会, 2017年11月10日-12日, 電気通信大学.
- [3] Y. Kamiya, “A simple parameter estimation method for periodic signals applicable to vital

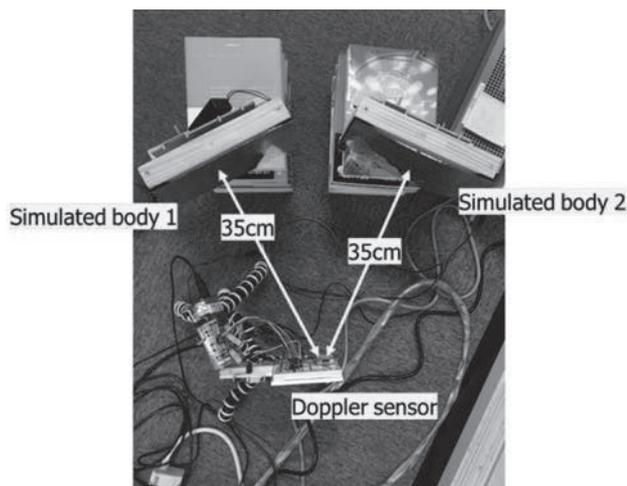


図8 2台の模擬人体を用いた実験

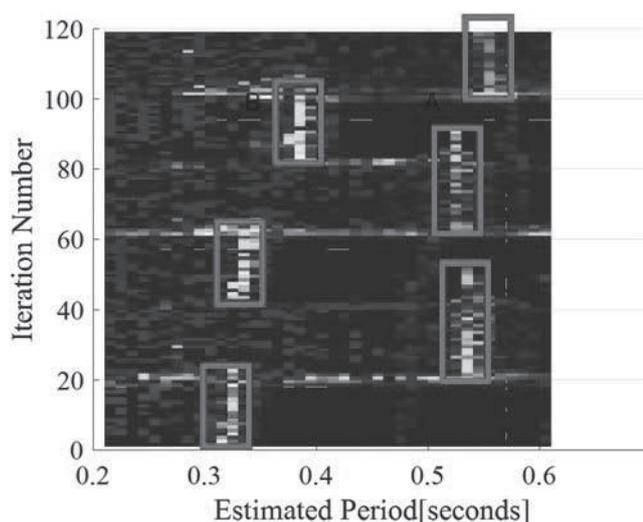


図7 実験結果

sensing using Doppler sensors” , SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 10, No. 5, pp. 378-384, September 2017.

- [4] 近藤 源, 神谷 幸宏, “非接触生体計測の精度向上を目指した複数ドップラーセンサの統合利
用法の提案”, 自動車技術会2017年秋季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1629-1633, 2017年
10月.
- [5] 神谷 幸宏, "MATLABによるデジタル無線通信技術”, コロナ社, 2008年.
- [6] K. Yano, G. Kondo and Y. Kamiya, “A new non-contact measurement of heartbeat variations
for car drivers using Doppler sensors” , 2017 IEEE International Conference on Vehicular
Electronics and Safety (ICVES2017), pp. 162-167, Wien, Austria, June 27-18, 2017.