

MIMO センサを用いた呼吸・心拍の計測法

Measuring Method of Respiration and Heartbeat using MIMO Sensor

○今日向*, 今岡墨**, 佐藤宏明**, 恒川佳隆**, 本間尚樹**

○ Hyuga Kon*, Rui Imaoka**, Hiroaki Sato**,
Yoshitaka Tsunekawa**, Naoki Honma**

*岩手大学大学院, **岩手大学工学部

* Graduate of school, Iwate University,

** Faculty of Engineering, Iwate University.

キーワード : マイクロ波 (microwave), MIMO (Multi-Input Multiple-Output),
生体信号 (biological data), フーリエ変換 (Fourier transform), 雑音除去 (noise elimination)

連絡先 : 〒 020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部
佐藤 宏明, Tel.: (019)621-6392, Fax.: (019)621-6392, E-mail: hsato@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

近年, 循環器疾患による突然死や, 高齢者増加に伴う孤独死などの問題がある. これらは一度の診断では症状が表れにくいことや, 安否確認の遅れなど, より深刻な問題になっている. そこで疾病の早期発見や病状の確認, 健康維持の為に生体信号を日常的にモニタする試みがなされている. 特に心電計を用いた計測法では, 心電図が心臓疾患に対して非常に有効な心臓動態の計測方法であるとともに, 装置の小型化が進んだことで日常的な計測が可能となっている. しかし, 現在用いられている心電図などの心拍・呼吸の計測技術は体にプローブを取り付けるなど, 直接装置を接触させる必要があるため被測定者に大きなストレスを与えてしまう.

この問題に対してマイクロ波を用いた呼吸・心拍の非接触計測法が報告されている¹⁾²⁾. 呼

吸や心拍によって生体表面は振動しており, マイクロ波を当てることで反射波がこの振動の影響を受けて振幅や位相が変化する. 反射波の変化から生体表面の動きを感知し, 生体情報の検出を行うことができる.

一方, 現在無線通信の分野でMIMO(Multiple-Input Multiple-Output) システムが注目されている. MIMO システムとは送受信機に複数のアンテナを用い, 同時通信によって伝送速度の向上などを実現可能とする技術である. 通常, MIMO システムは伝搬環境の変化から伝搬特性が劣化しやすい⁴⁾. 筆者らは伝搬環境の変化による MIMO システムの特性劣化を利用した, 呼吸・心拍の非接触計測を提案している⁵⁾.

本稿では, 提案する呼吸・心拍の非接触計測法について説明し, 実験における測定条件について述べる. 測定結果から, 測定チャンネルの時

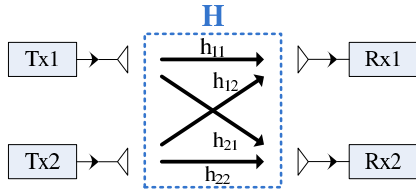


Fig. 1 伝搬チャネル.

変動特性を観測する. また, フィルタ処理を行い, 呼吸・心拍成分の検出を行う. 次に, 測定距離を変えたチャネル毎の検出感度について示し, 検出精度向上の為のチャネル選択について検討する. 最後に, 最適なチャネルを選択し, 呼吸・心拍成分の検出を行い, MIMO 上でのチャネル選択によるダイバーシティが有効であることを示す.

2. 測定方法

2.1 伝搬チャネル応答行列

本研究では送受信側それぞれ2つの2×2MIMOを用いる. 送信信号が伝搬中に受ける変化は, 2×2MIMOでは2入力2出力システムであるため Fig. 1 の様に周波数領域での伝達関数行列を考慮することができる. 伝搬環境の変化を表す伝搬チャネルは各伝搬経路の伝達関数である. 伝搬経路の数は(受信アンテナ数 i)×(送信アンテナ数 j)と等しい. MIMO システムの伝搬環境の変化を表す伝搬チャネル h_{ij} はチャネル行列 \mathbf{H} として以下の様に定義される.

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \quad (1)$$

従って, チャネル応答行列 \mathbf{H} を解析することで伝搬環境の変化から生体の動きを検知することができる.

2.2 測定条件

パッチアンテナを用いて 2GHz 帯で測定を行う. 実験システムは送信側・受信側共に2つの

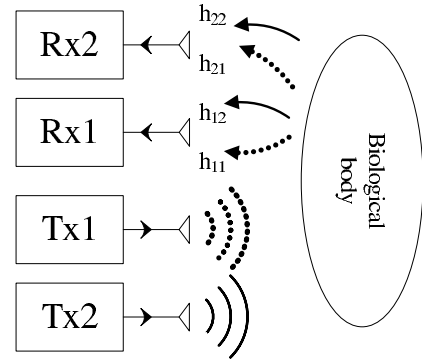


Fig. 2 アンテナ配置.

Table 1 測定条件

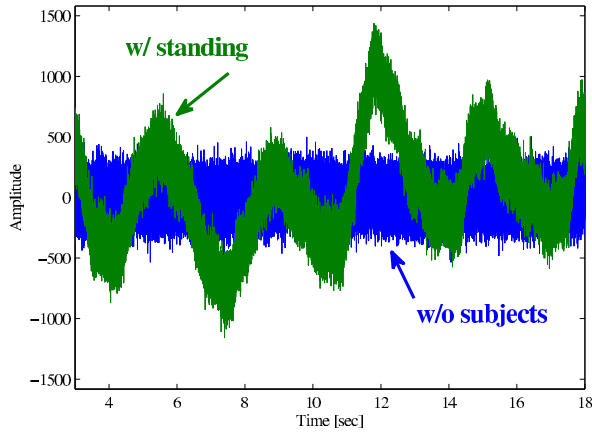
Antenna	Patch Antenna		
Frequency	2GHz band		
Transmitting Antennas	2		
Receiving Antennas	2		
Antenna element spacing	1.0λ		
Antenna height	1.15m		
Antenna distance	25cm	100cm	200cm

アンテナをアンテナ間隔 1.0λ で横に並べた 2×2MIMO システムで構成されている. Fig. 2 の様に生体の前面に送受信アンテナ両方を置き, 反射波を測定する. アンテナの高さは, 生体の胸部と等しい 1.15m とし, 生体とアンテナまでの距離は 25cm, 100cm, 200cm の3つのパターンで測定を行った. 被測定者は直立している.

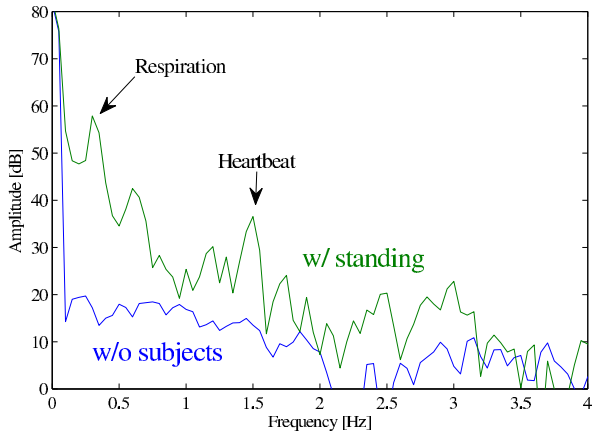
3. 測定結果

Fig. 3 にアンテナ間隔 1.0λ , 距離 25cm で測定した測定チャネル h_{11} の振幅波形 (a) とフーリエ変換より求めたパワースペクトル (b) を示す. 振幅波形では周期をもった変動が見て取れる. スペクトルを見ると, 無人時に比べて周波数ピークが検出されており, 生体を置いたことで伝搬環境内に周期的な変化が生じていることがわかる.

特に 0.3Hz 付近に高いピークが現れていることがわかる. 人間の呼吸は安静時 1Hz 以下であるため 0.3Hz 付近のピークは呼吸による体の振動が伝搬チャネルに与えた変動であると考えら



(a) 振幅波形



(b) スペクトル

Fig. 3 測定チャンネル h_{11}

れる。また、1.5Hz 付近にも周囲に比べて高いピークが検出されており、これは心拍にあたる成分と思われる。無人時に比べて高い振幅成分が検出されており、特定の周波数に高いピークが表れていることからこれらの生体の動きが伝搬環境に影響を与えることが示されており、呼吸・心拍成分の検出も十分に可能と考えられる。また、各測定チャンネルのスペクトルを Fig. 4 に示す。先程の測定チャンネル h_{11} と比べて、他のチャンネルにおいても呼吸・心拍成分と見られる周波数ピークが検出されている。しかし、チャンネル h_{11} では全体的に信号が弱く、1.5Hz 付近のピークが他のチャンネルに比べて低い。従って、これら周波数ピークが呼吸・心拍成分であるかについて検討を行う必要がある。

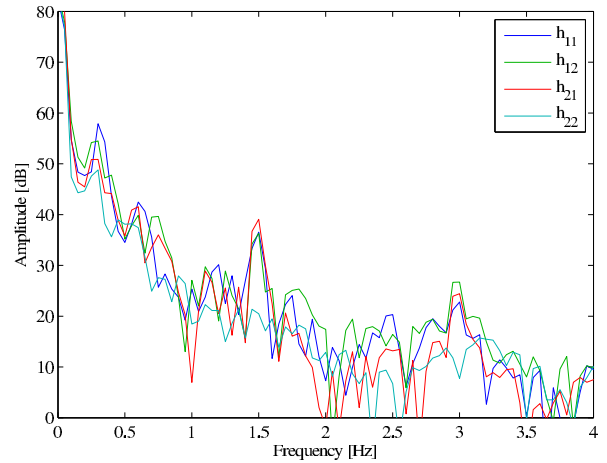


Fig. 4 チャンネル別スペクトル。

4. 呼吸・心拍成分の分離

測定チャンネル h_{11} にフィルタ処理を行いより詳細な呼吸・心拍成分の分離を行う。バンドパスフィルタによって、直流成分と高周波成分を除去する。フィルタの通過帯域は呼吸成分の検出 (0.2Hz~400Hz) と心拍成分の検出 (1.0Hz~400Hz) の2種類設定した。呼吸成分は狭帯域バンドパスフィルタによって主成分のみが検出されることを防ぐために帯域を広くとっている。そのため、帯域内に心拍成分を含んでいる。心拍成分では、呼吸成分を除去し、1.5Hz 付近の周期信号に注目する。呼吸成分では20秒間、心拍成分では5秒間として振幅波形を観測する。それぞれ0.3Hz 付近を呼吸成分、1.5Hz 付近を心拍成分と考え、フィルタ処理によって各生体信号の分離を行ったのが Fig. 5 と Fig. 6 である。

呼吸成分ではアンテナ距離100cmまでは特徴的な波形が周期的に表れていることがわかる。また、距離200cmであっても呼吸と思われる周期信号を観測することができる。

心拍成分では距離25cmに特徴的な波形が周期的に表れている。距離100cmでは周期信号を観測することができる。距離200cmでは周期信号を確認することは難しい。

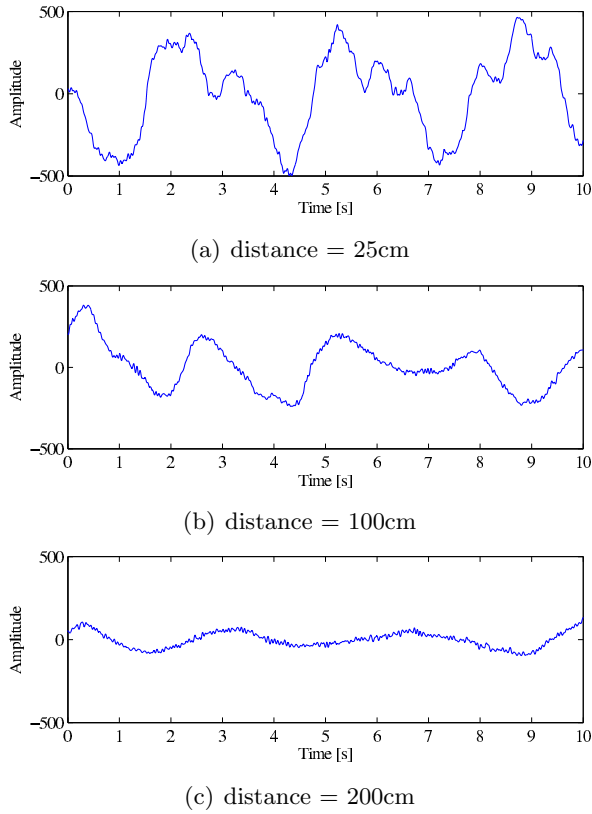


Fig. 5 測定チャネル (呼吸成分)

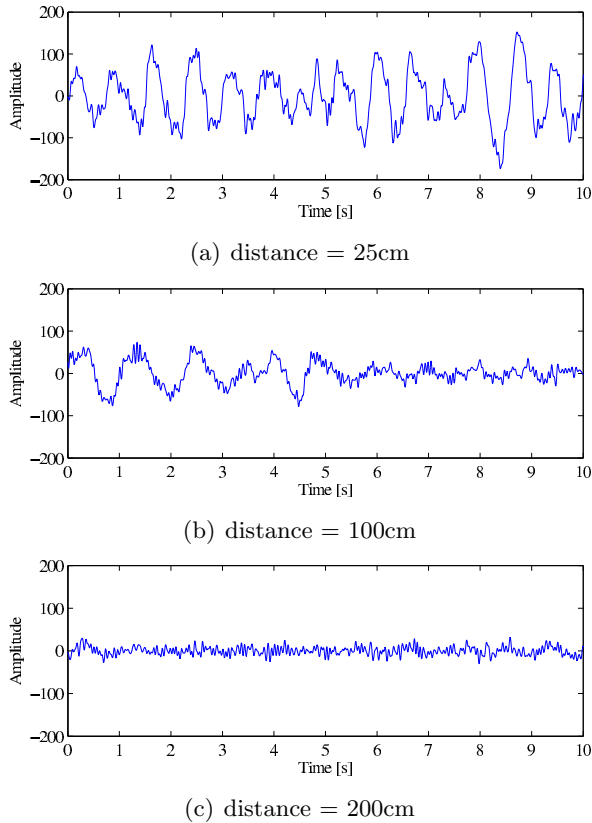


Fig. 6 測定チャネル (心拍成分)

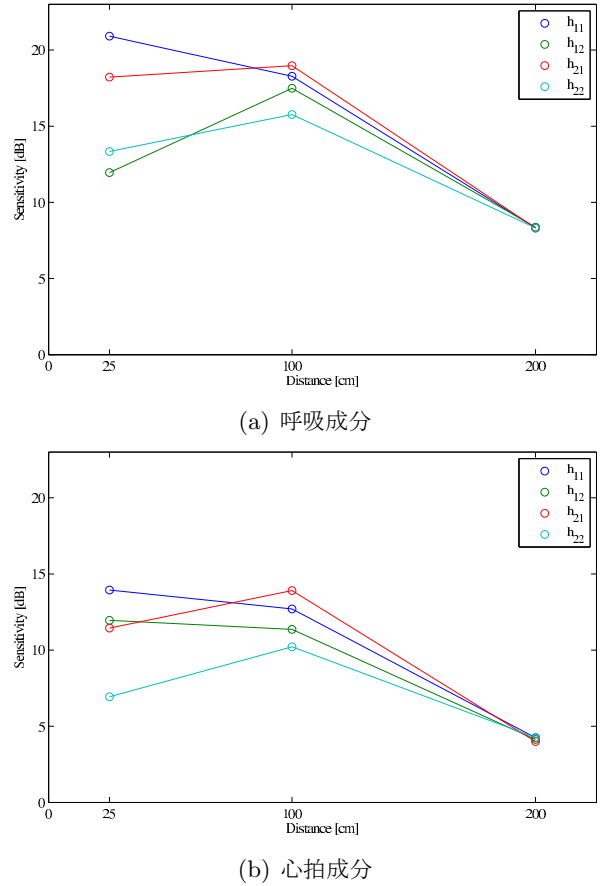


Fig. 7 検出感度の距離特性

5. 検出感度の比較

測定チャネルによって測定精度は変化している。そこで、測定毎の測定チャネル特性を調べる。バンドパスフィルタの適用後の測定チャネルは通過帯域内に呼吸・心拍の成分を持っている。通過帯域内の測定信号電力と、雑音電力の比を検出感度と定義し、式(2)で表す。

$$Sensitivity = \frac{\int_{\omega_2}^{\omega_1} |H(\omega)|^2 dx}{\int_{\omega_2}^{\omega_1} |N(\omega)|^2 dx} \quad (2)$$

ここで、 ω_1 、 ω_2 はバンドパスフィルタの通過帯域を示しており、 $|N(\omega)|^2$ は SNR=50 dB で仮定した雑音電力である。

各測定チャネルの検出感度を距離別に観測したのが Fig. 7 である。アンテナ距離 25cm では 9.0 dB の高いダイバーシティの効果を得ることができる。また、距離 100cm についても 3 dB ほどのダイバーシティの効果を得られることが

わかった。距離 200cm では測定チャンネル同士がほとんど同じ検出感度を示していた。

特に距離が 25cm と 100cm では検出感度が最も高い測定チャンネルが異なる。距離によって適切なアンテナを選択することでより高精度な検出を期待できる。

6. まとめ

本稿では MIMO システムの伝搬チャンネルの時変動特性を用いて、呼吸・心拍成分の検出を行った。測定した測定チャンネルには 0.3Hz 成分と 1.5Hz 成分に特徴的な振幅が観測された。また、測定チャンネル毎に測定感度を観測した。

また被測定者の距離によっても、測定チャンネルの検出精度が変化した。そして、最適なチャンネルを選択することで、測定対象の距離が離れていても十分に測定が可能である。MIMO システムを用いることで測定チャンネルを選択して使用することが効果的であることを示した。

今後は呼吸・心拍などの生体信号の計測に逐次適切なチャンネルを選択することで、検出精度の向上や被測定者が行動している場合の検出も可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎 智樹, 荒井 郁男: 1.5GHz 帯電波による呼吸・心拍計測, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 エレクトロニクス (1), 105(1997)
- 2) 長江 大輔, 間瀬 敦: マイクロ波反射計による心拍測定とストレス評価への適用, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス (1), 145(2009)
- 3) 西山 恵介, 間瀬 敦, 近木 祐一郎: マイクロ波アクティブセンサによる生体情報計測, 電気学会研究会資料. PST, プラズマ研究会 2005(37), 41/44,(2005)
- 4) 杉浦 貴志, 本間 尚樹, 西森 健太郎: MIMO センサ: 屋内環境における侵入検出精度のレイトレス解析, 電子情報通信学会技術研究報告. A・P, アンテナ・伝播 110(223), 13/18(2010)
- 5) 南湖 政樹, 本間 尚樹, 西森 健太郎: MIMO チャンネル時変動特性を用いた非接触呼吸検出法, 電子情報通信学会技術研究報告. A・P, アンテナ・伝播 111(172), 1/6(2011)
- 6) B. Lohman, O. Boric-Lubecke, V.M. Lubecke, P.W. Ong, M.M. Sondhi: A digital signal processor for Doppler radar sensing of vital signs, Engineering in Medicine and Biology Society, 2001. Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE
- 7) Amy DrOITCOUR, Olga BORIC-LUBECKE, Victor M. LUBECKE, Jenshan LIN, Gregory T.A. KOVACS: Chest Motion Sensing with Modified Silicon Base Station Chips, IEICE transactions on electronics E87-C(9), 1524/1531(2004)
- 8) 今井 文吾, 塩澤 成弘, 牧川 方昭: 光電脈波計測における加速度センサを用いた体動アーチファクトの除去, 生体医工学: 日本エム・イー学会誌 44(1), 148/ 155(2006)