

透過波を用いた非拘束心拍検出手法の検討*

Study of Non-contact Heartbeat Sensing Method using EM Waves Passing Through the Human Body

柴田 俊輔
Shunsuke SHIBATA

齋藤 隆
Takashi SAITO

鈴木 洋一郎
Yoichiro SUZUKI

森 寛之
Hiroyuki MORI

上田 吾朗
Goro UEDA

王 建青
Jiangqing WANG

To prevent a traffic accident due to the physical condition abnormality of the driver, driver monitoring system are required. In particular, heart beat is the index that can provide information of health condition and heart disease by continuous monitoring. To detect heart beat without contact, the method using EM waves passing through the human body is proposed. This method derives the heart beat by radiating a 920 MHz electromagnetic wave to human, and detects the transmitted waves behind the heart. In this study, we evaluate this method an actual system, and this method can detect the heartbeat every weight.

Key words :

human engineering, heartbeat, driver monitor

1. まえがき

近年、高齢者ドライバーの人口増加に伴い、体調に起因する交通事故が増加すると予測されている¹⁾。また、自動運転の進化に伴い、自動運転から手動運転への復帰の際にドライバーが権限移譲可能な状態であるか検知し、運転可能な状態へ誘導するシステムが必要となる。以上からドライバーの状態を高精度に検知するシステムが求められる。中でも心拍情報は常時観測することで心疾患等の心臓に起因する健康状態が検出可能となるため、これを車載環境下で非拘束に検出する技術が必要となる。

心拍情報を非拘束で検出する手法は、カメラ画像を用いて血管の輝度変化を検出する手法²⁾、ミリ波センサを人体に照射し心拍による体表の動きを検出する手法³⁾などが提案されている。しかし、いずれの手法も

心拍による体表面に現れる信号が微弱であることから車載環境下では走行時の車両振動による人体の変位と区別することが難しく心拍情報を検出できないシーンが多い。

そこで王らは電波を人体に向け照射し、人体背面に設けた受信アンテナで人体を透過した電波（以下、透過波）を受信することで心拍情報を検出する手法を提案し、920MHz付近の電波が最もノイズ(N)に対する心拍情報(S)の比（以下、SN比）が高いことをシミュレーション上で検証した⁴⁾。本稿では実機で静止状態の精度を検証し、本手法の懸念点の1つである体格差について、心拍数±1回の精度を検出可能か確認する。

2. 電波透過式心拍センサ

透過波を用いて非拘束で心拍情報を検出する原理に

* (公社)自動車技術会の了承を得て2019年秋季大会講演予稿集(文献番号:20196258)より修正・加筆して転載

ついて説明する。Fig. 1に本方式の基本構成を示す。人体を挟む形で送信アンテナおよび受信アンテナを配置する。車載時は例えば送信アンテナはステアリング上もしくは天井ルーフ内に配置する。受信アンテナは座席シート内に埋め込む。送信アンテナから人体に向け920MHzの電波を照射し、人体を透過した電波を背面で受信すると、Fig. 2のように心臓の拡張・収縮に伴い背面のアンテナで受信する電力が変化する。この変化量を検出することで心拍情報を検出することが可能となる。ミリ波センサ等を用いて心臓の拡張に伴う体表面の変位(1mm以下)を検出する手法に比べ本手法は体内の心臓の拡張の変化量(±10mmほど)をダイレクトに検出可能となるためSN比の観点から優位であると考えられる。

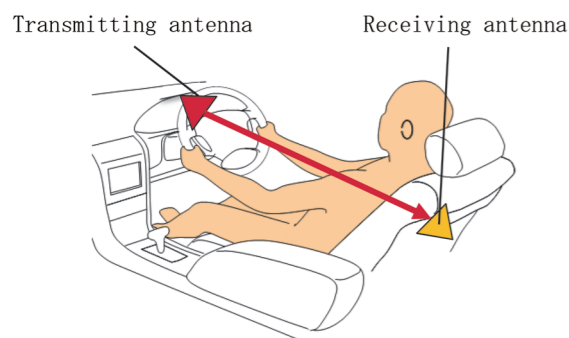


Fig. 1 Heartbeat sensing system using EM waves passing through the human body

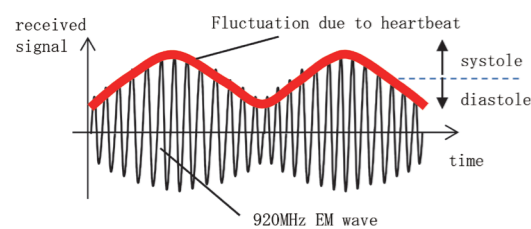


Fig. 2 How to extract heartbeat from received EM wave signal

3. 構成検討

920MHz帯の電波を用いた電波透過式心拍センサの実機検証を行うための送信/受信アンテナの構成について検討した。

3.1 送信アンテナ

送信アンテナはFig. 1の通り人体前方に配置する必要がある。車室内ではメータ等が配置されている箇所にあたり、小型のアンテナが望まれるため、ダイポールアンテナを使用した。

3.2 受信アンテナ

受信アンテナの構成を検討するために送信アンテナ(ダイポール)を配置した時の車室内の電波伝搬シミュレーション結果をFig. 4(シミュレーションモデル: Fig. 3)に示す。(a) X成分(車幅方向成分)と(b) Y成分(車長方向成分)の人体背面の受信アンテナ配置想定箇所の電界分布を比較すると、X成分は背面の到来が抑制されているのに対しY成分は電界強度が大きくなった。体内で減衰する透過波に比べ、ノイズ成分である人体を回り込み受信する電波(以下、回折波)や車両ボディで反射して受信する電波(以下、反射波)が大きいと仮定すると、X成分はY成分に比べノイズ成分(回折波、反射波)を抑制でき透過波を抽出することに適している。そのため、人体背面に搭載する受信アンテナはX成分のみを抽出する特性を持たせればよいことが分かった。以上から、本稿ではX成分を受信する向きでスロットアンテナを使用した。

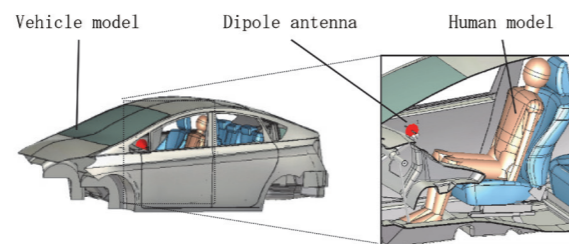


Fig. 3 Simulation model

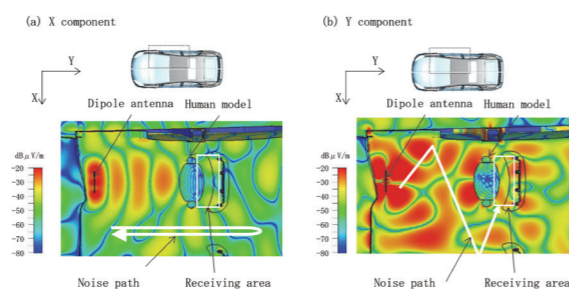


Fig. 4 Simulation Results ((a) X component, (b) Y component)

4. 電波透過式心拍センサの原理検証

4.1 検証方法

Fig. 5に原理検証に用いる構成を示す。前述の通り送信アンテナにはダイポールアンテナ、受信アンテナにはシート状のスロットアンテナを使用した。これらを車両用電波暗室内でネットワークアナライザを用いて動作させた。また心拍数のリファレンス用として光学式脈波センサを実験参加者の指につけ、脈波センサの電圧とネットワークアナライザの受信電力をPCで同期取得した。受信電力および脈波センサ電圧の時系列データをFig. 6の手法で心拍数を算出し精度を算出した。なお本検証で用いる電波出力は最大で0dbmであり、総務省が発行している電波に対する人体防護指針⁵⁾より十分小さい値とした。

なお、実験参加者はインフォームドコンセントを得た健康な成人男性1名(58kg)であった。

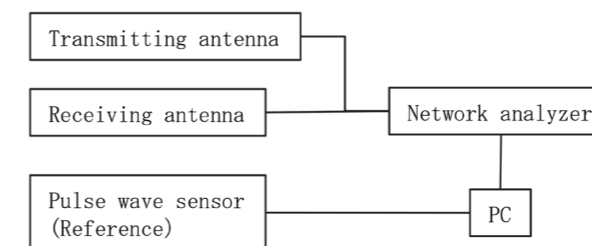


Fig. 5 Measurement system

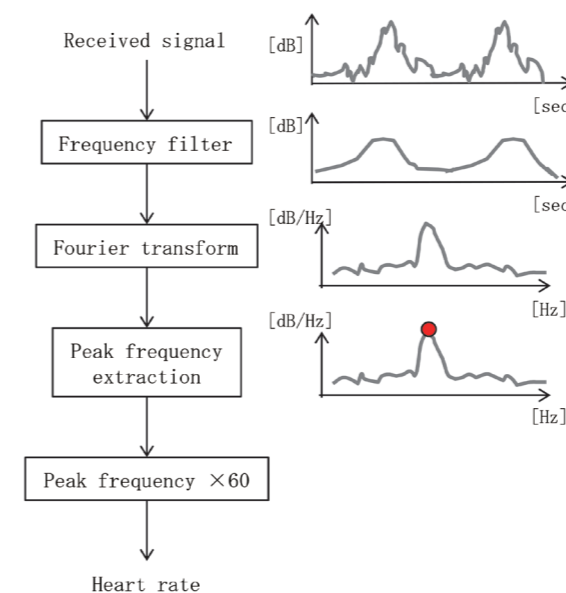


Fig. 6 Calculation method of the heart rate

4.2 検証結果

脈波センサの電圧波形および電波透過式の受信波形をFig. 7, 算出した心拍数をFig. 8に示す。Fig. 7(b)より電波透過式の受信波形には呼吸成分に心拍成分が重畳していた。またFig. 7(a), Fig. 7(b)の比較から、脈波センサに対応する箇所でも電波透過式も心拍成分が得られた。得られた受信波形に対しFig. 6の処理をした結果、Fig. 8の通りリファレンスの脈波センサの値に対して±1回以内の精度で追従することを確認した。

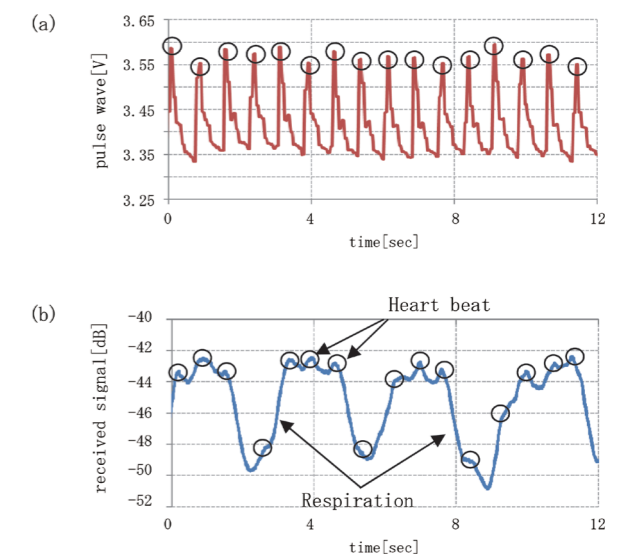


Fig. 7 Signal data ((a) Pulse wave (reference), (b) Received EM wave)

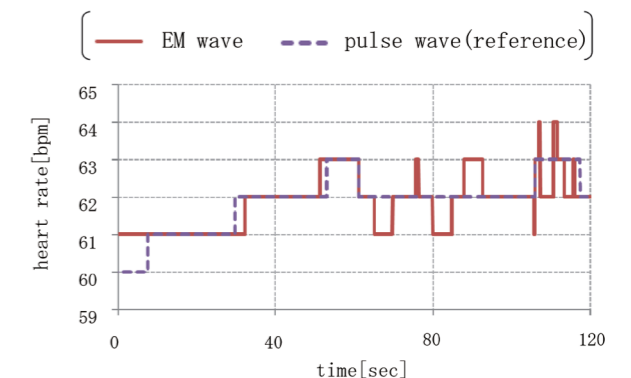


Fig. 8 Comparison with the reference sensor

5. 体格差による精度検証

5.1 体格差について

次に体格差について検証した。電波は誘電体を通ると電波強度が減衰する電波の性質上から電波透過式心拍センサでは筋肉など電波が心臓に到達するまで

に通過する誘電体が検出精度に影響する。従って、本報では体格差の中でも特に影響すると考えられる胸囲について体格差を検証した。

5.2 検証方法

胸囲の個体差を検証するために胸囲と高い相関性のある体重を用いて⁶⁾ 検出精度を比較した。比誘電率の関係から⁷⁾ 電波が透過する際に最も減衰するのは筋肉であり、脂肪は筋肉の1/10程度である。そのため脂肪が主である乳房厚での減衰は少ないと考え、本報では男女間の差はないものとして体重を代表値として扱った。原理検証と同様に Fig. 5 のシステムを用いた。5分間のデータを取得し、実験参加者ごとに心拍を算出しリファレンス±1回以内の計測精度の割合を算出した。また、本検証で用いる電波出力も4.1と同様に0dbmとした。

なお、実験参加者はインフォームドコンセントを得た健康な成人男性/女性(計10名)であった。各実験参加者の緒言値は Table 1 に記載の通りである。

Table 1 Information of experiment participants

No.	Weight [kg]	Height [m]	BMI	Sex
1	58	1.71	19.8	Male
2	65	1.74	21.5	Male
3	92	1.75	30.0	Male
4	95	1.83	28.4	Male
5	83	1.68	29.4	Male
6	65	1.71	22.2	Male
7	84	1.76	27.1	Male
8	70	1.72	23.7	Male
9	62	1.65	22.8	Male
10	50	1.51	21.9	Female

5.3 結果

10名の検出結果を Fig. 9 に示す。本実験参加者の最大体重95kg以下の範囲では実験参加者の体重に依らず心拍数を検出可能であることを確認した。Fig. 6 の手続きで受信電力をフーリエ変換した結果を Fig. 10 に示す。58kgと95kgと比較すると、58kgに比べ95kgが心拍に起因するピーク周波数の強度が低減していることを確認した。

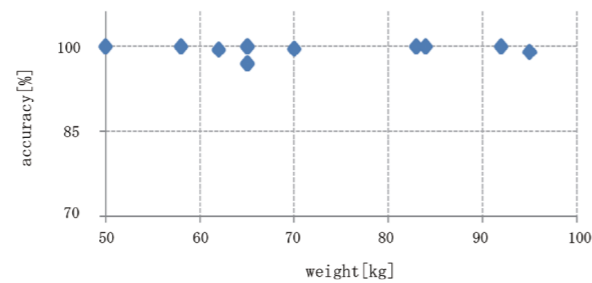


Fig. 9 Accuracy by weight

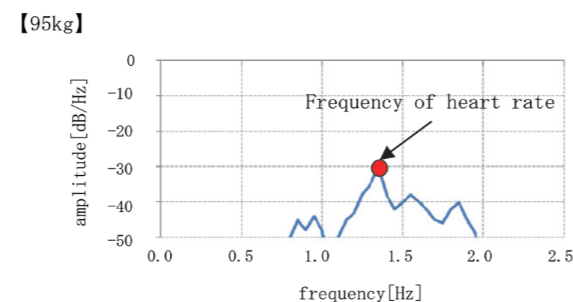
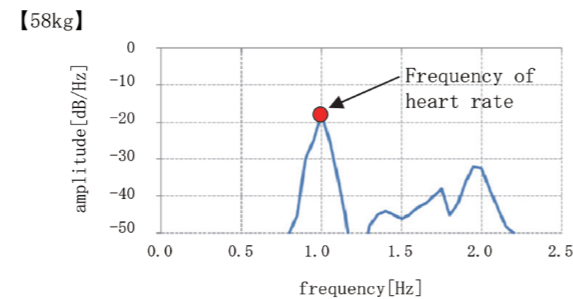


Fig. 10 Fourier transform

5.4 考察

実験参加者の体重と受信電力の周波数特性の関係をみると体重に応じてばらつきはあるが、心拍情報に起因する周波数強度が低下していることが分かった。その理由は体重の増加により胸囲が増え、透過波が体内で減衰する量が増えたためであると考えられる。

一方、心拍情報以外のノイズである周波数成分は体重によるばらつきは小さかった。従って、心拍情報に起因するピーク周波数強度がノイズ成分を下回らなければ心拍情報の検出が可能となる。Fig. 11の通り、今回の実験で各被験者のピーク周波数とノイズ成分の平均値から算出した回帰式を用いると体重113kg相当で電波透過式心拍センサでは心拍情報を算出することが可能であると考えられる。

前記ノイズ成分は透過波以外の電波である回折波、反射波である。従って、送信アンテナの指向性を人体

方向のみに絞ることでこれらの成分を低減することが可能となり電波透過式心拍センサを適用可能な体格範囲を広げることが可能であると考えられる。

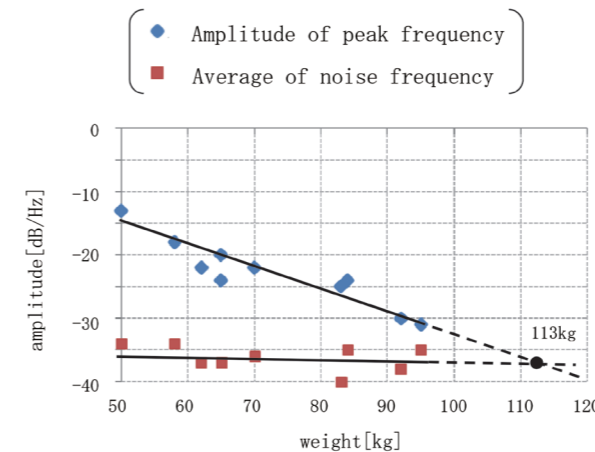


Fig. 11 Relationship between peak frequency and average of other frequencies

6. むすび

本稿では、他の非拘束心拍センサに比べSN比の観点で優位と考える920MHzの電波を用いた電波透過式心拍センサについて、ダイポールアンテナおよびスロットアンテナを用いて原理検証を行った。また本手法の懸念点の一つである体格の差について実機で検証し113kgまでの体格で検出可能であることを確認した。

今後は、本システムを実車搭載し走行時の検出精度について評価する。

なお本研究は株式会社デンソーの「人を対象とする研究審査委員会」による審査と承認を受けており、インフォームドコンセントの取得等の倫理的配慮を行って実施した(審査番号:19-003)。

参考文献

- 1) 内閣府：平成29年交通安全白書 特集「高齢者に係る交通事故防止」I 高齢者を取り巻く現状, https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/gaiyo/features/feature01.html, (参照2019/08/01)
- 2) 手塚忠則, 中村剛：カメラを用いた非接触バイタルセンシング技術とその応用, バイオフィードバック研究, 45巻(2018)1号
- 3) 大石健太郎, 奥村成皓, 阪本卓也, 佐藤亨他：人体表面変位の高調波成分に着目した超広帯域ドップラーレーダ

- による非接触心拍間隔測定, 電子情報通信学会論文誌C Vol.101-C, No11, pp412-420 (2018)
- 4) K.Mitsui, J.Wang, D.Anzai, T.Saito, H.Mori, S.Shibata, K.Yamada: Study of Non-contact Heartbeat Sensing Method using EM Waves Passing through the Human Body, EMCJ2018-57, pp3-5 (2018)
- 5) 総務省：電波防護指針, 電波利用ホームページ, <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/medical/protect/>, (参照2019/08/01)
- 6) 新田正一：青壮年の身長, 体重, 胸囲に対数他の諸測度の相関及び回帰方程式について, 日本衛生学会誌, 14巻, 4号 p373-384 (1959)
- 7) 上瀧實, 篠塚隆：電磁波による生体計測 その1. マイクロ波以下の周波数領域, 情報通信研究機構研究報告, 34巻, 171号 p65-82 (1988)

特集

著者



柴田 俊輔

しばた しゅんすけ

株式会社 SOKEN 研究 2 部
車載センサ開発に従事



齋藤 隆

さいとう たかし

株式会社 SOKEN 研究 2 部
車載センサ開発に従事



鈴木 洋一朗

すずき よういちろう

株式会社 SOKEN 研究 2 部
車載センサ開発に従事



森 寛之

もり ひろゆき

株式会社 SOKEN 研究 2 部
車載センサ開発に従事



上田 吾朗

うえだ ごろう

サーマルキャビンシステム開発部
生体データを活用した車両システム開発に
従事



王 建青

おう けんせい

名古屋工業大学 電気電子工学専攻
電気電子分野 教授
人体周辺での通信方式及び電磁両立性の
開発に従事