

# ミリ波レーダによる睡眠中の遠隔心拍測定のための 距離カメラを用いた電磁波散乱解析

Numerical Analysis of Electromagnetic Scattering Using Depth Camera for Noncontact Measurement of Heart Rate During Sleep Using Millimeter-Wave Radar

小西 建太郎<sup>1</sup>      阪本 卓也<sup>2,3</sup>      山下 幸祐<sup>2</sup>      村垣 政志<sup>3</sup>      奥村 成皓<sup>3</sup>  
Kentaro Konishi      Takuya Sakamoto      Kosuke Yamashita      Masashi Muragaki      Shigeaki Okumura  
佐藤 亨<sup>3</sup>  
Toru Sato

兵庫県立大学 工学部<sup>1</sup>      兵庫県立大学 大学院工学研究科<sup>2</sup>  
School of Engineering, University of Hyogo      Graduate School of Engineering, University of Hyogo  
京都大学 大学院情報学研究科<sup>3</sup>  
Graduate School of Informatics, Kyoto University

## 1 はじめに

近年、レーダを用いた非接触での心拍測定技術に注目が集まっており、睡眠中の遠隔心拍測定も報告されている [1]。一方で対象者の姿勢によっては心拍精度が著しく低下する場合 [2] もあり、その理由の解明には人体表面の電波反射位置を特定する必要があるが、アレイアンテナを用いてもアレイ自由度以上の反射点が存在すれば波源の推定はできない。本稿では Muragaki ら [3] による距離カメラと物理光学法を用いた人体からの電磁波散乱解析手法と Shijo ら [4] による物理光学法可視化技術を用いて人体の電波反射位置推定を行う。

## 2 距離カメラによる測定と電磁波散乱解析

距離カメラ Kinect v2 センサにより約 1.5 m 離れた位置に横たわった人体を撮影した。ただし同センサの解像度  $512 \times 424$ 、フレームレート 30 fps、測定距離 0.5-8.0 m、測定精度  $\pm 3$  mm、水平・垂直測定可能角  $\pm 35$  度および  $\pm 30$  度である。得られた距離画像の法線ベクトルとレーダ視線方向のなす角  $\theta$  に対して  $|\cos \theta|$  を図 1 に示す。この図では幾何光学近似で反射条件を満たす場所で値 1 をとる。

## 3 物理光学近似による電磁波散乱解析

送受信アンテナを鉛直方向の微小ダイポールで、人体を完全導体で近似する。送信周波数を 60 GHz とし、人体表面の電流密度  $i$  を  $i = 2n \times H$  により近似する。ただし  $n$  は法線ベクトル、 $H$  は微小ダイポールによる放射磁界である。Shijo ら [4] の方法により、人体表面電流の再放射積分に次式の重み関数  $w(r_0, r)$  を用いる。

$$w(r_0, r) = \begin{cases} \frac{1}{2}(\cos(\pi|r - r_0|/a_0) + 1) & (|r - r_0| \leq a_0) \\ 0 & (|r - r_0| > a_0) \end{cases} \quad (1)$$

ただし  $a_0 = 9$  mm とする。受信アンテナ位置における散乱電界の鉛直成分のうち人体表面位置  $r_0$  近傍からの寄与は次式で計算される。

$$E_z(r_0) = \iint_{S_0} w(r_0, r) \hat{E}_z(r_R, r) dS \quad (2)$$

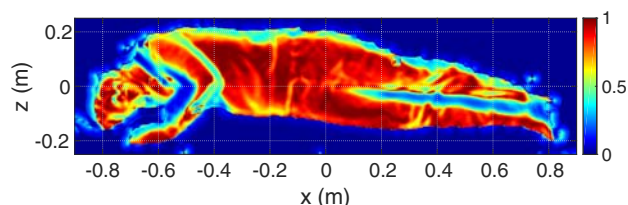


図 1 レーダの視線方向と法線ベクトルの余弦

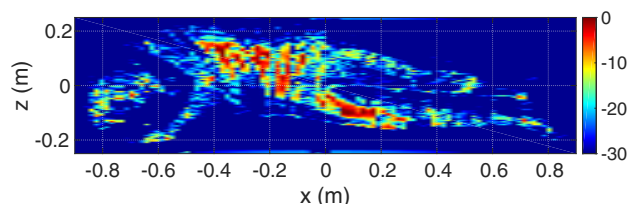


図 2 物理光学法による反射位置推定結果 (dB 値)

ただし  $S_0$  は距離カメラにより測定された人体表面全体であり、 $\hat{E}_z(r_R, r)$  は人体表面上の  $r$  における電流により受信アンテナ位置  $r_R$  に生じる電界の鉛直成分である。この方法により得られた人体の各部位のレーダ受信信号への寄与電力を図 2 に示す。本稿で示すデータについては胴体や脚部から強い散乱が見られ、頭部や腕部からの寄与は相対的に小さいことが分かる。今後、人体の電波反射位置と心拍推定精度の関係性を調べる予定である。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金・基盤研究 (A)25239057・若手研究 (B)15K18077・国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化)15KK0243、京都大学 COI プログラムの助成により実施された。

## 参考文献

- [1] 渡辺 他, 信学総大, B-20-18, 2016.
- [2] 山下 他, 信学総大, BS-6-4, 2017.
- [3] M. Muragaki *et al.*, Proc. ISAP, no. 20053, 2016.
- [4] T. Shijo, T. Itoh, and M. Ando, IEICE Trans. Electron. vol. E87-C, no. 9, pp. 1607-1614, 2004.