

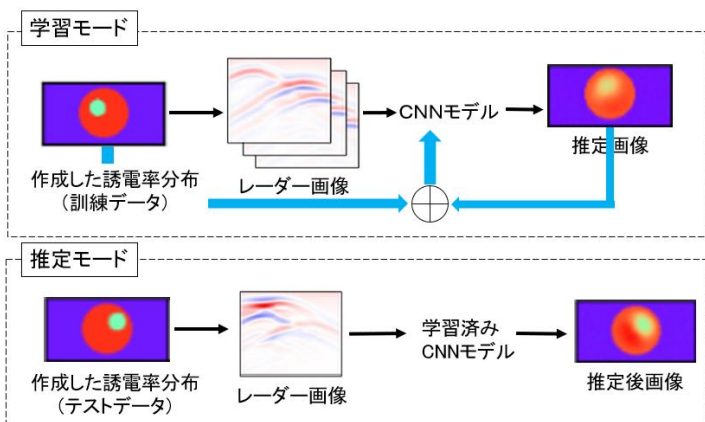
機械学習を用いた誘電率・導電率分布の推定に関する研究



Abstract

近年、人体内部の異常を**非破壊で検出**する技術が求められている。電磁波は比誘電率・導電率に応じて散乱・減衰するため、観測散乱波形から内部物性分布を推定できれば腫瘍等の検出に有用である。本研究では、人体断面の2次元モデルを対象に**2次元FDTD計算**で走査位置ごとの受信波形を生成し、波形を走査方向に配列したレーダー画像を作成した。これをResNetによる回帰モデルに入力し、比誘電率分布を推定する枠組みを構築した。直線走査と円形走査を比較し、スキャン距離(0 - 12.5 cm)および異物数(1 - 6個)を変化させてRMSEで評価し、**円形走査の有効性**を確認した。

1. 提案手法



人体・異物の誘電率分布を作成し、2次元FDTDで受信波形からレーダー画像を生成する。学習ではレーダー画像と対応する誘電率分布の組をCNNに与え、誤差逆伝播で勾配を求め、Adamで重みを更新する。学習後、**未知のレーダー画像から誘電率分布を推定**し、内部構造を再現する。

2. CNNの仕組みと諸元

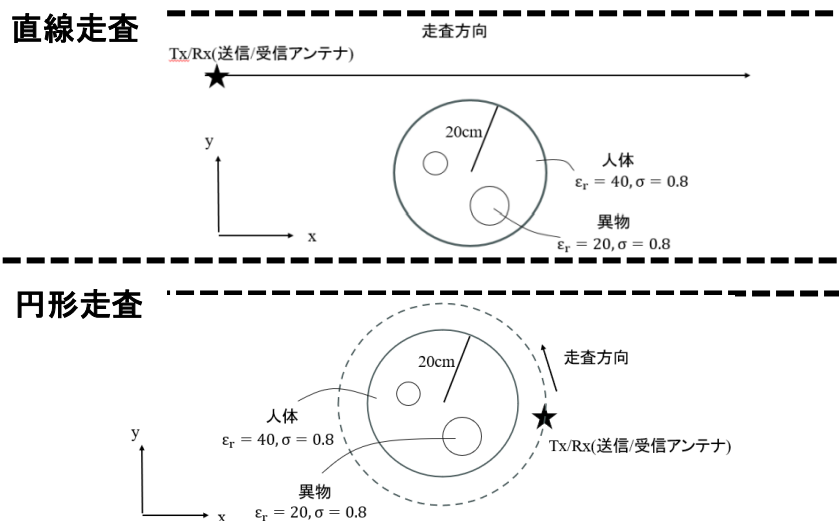
FDTD諸元		CNN諸元	
解析手法	2次元FDTD解析	モデル	ResNet18, 入力1ch 出力は画素数Pの回帰
計算領域(セル数)	80 * 55	入力	レーダー画像
1セルの大きさ	2.5cm	損失関数	MSE
周波数	600MHz	評価指標	RMSE
走査点数	56	最適化手法	NAdam
時間サンプル数	224	エポック数	50
空気	$\epsilon_r = 1, \sigma = 0$	訓練データ	8000
人体の比誘電率・導電率	$\epsilon_r = 40, \sigma = 0.8$	テストデータ	2000
異物の比誘電率・導電率	$\epsilon_r = 20, \sigma = 0.8$		
人体半径	20cm		
異物半径	4 - 8cm		
異物数	評価条件に応じて変更		

2次元FDTD法で得たレーダー画像(1ch)を入力とし、残差ブロックで特徴抽出したResNet18の最終全結合層を画素数Pの回帰に置換して比誘電率分布を推定する。教師データの真値と推定後の比誘電率分布をMSEを用いた損失として最小化し、出力ベクトルをreshapeして2次元分布として表示する。推定段階ではテストデータで同様の作業を行い、RMSEで誤差を評価する。

5. まとめ

人体断面モデルに対し、2次元FDTD法で得た受信波形からレーダー画像を作成し、ResNetを用いた回帰により比誘電率分布を推定した。直線走査と円形走査を比較した結果、距離0 - 12.5 cmおよび異物数1 - 6個の全条件で円形走査のRMSEが小さく、平均で約30%の誤差が低減することを確認した。距離・異物数の両実験で円形走査が一貫して優位であり、円形走査が推定精度向上に有効であることを示した。

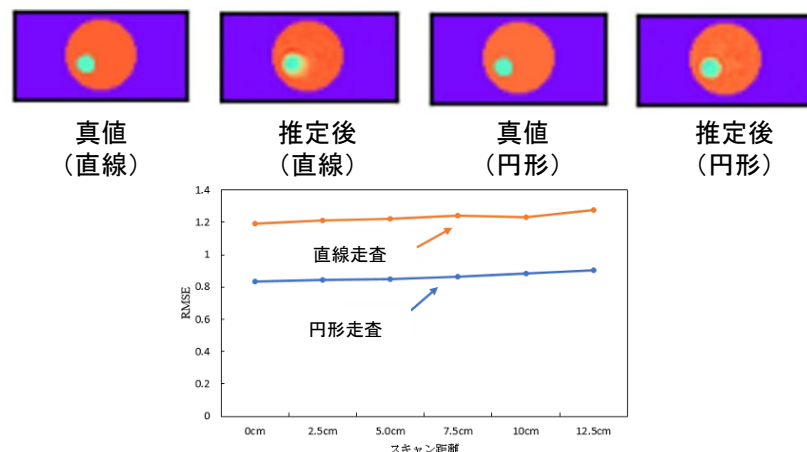
3. 走査方法の違い



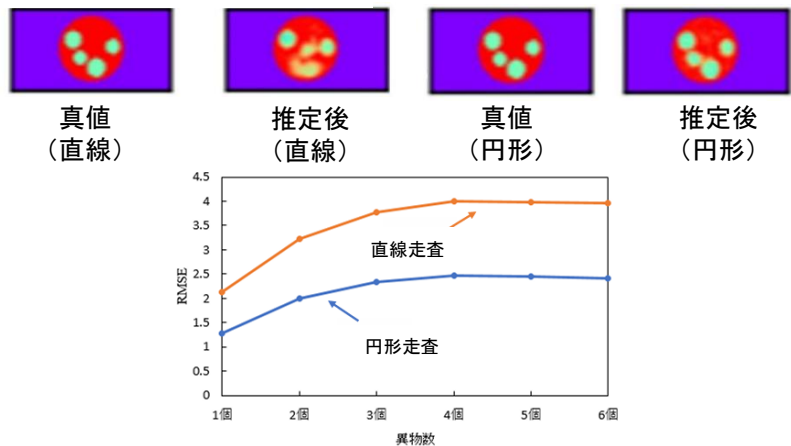
直線走査は人体片側を一定間隔で移動して観測し、円形走査は人体周囲を円周上かつ一定間隔観測する。両者の推定精度を比較する。

4. 推定精度評価

スキャン距離を変動させた場合



異物数を変動させた場合



スキャン距離 0 - 12.5 cm, 異物数 1 - 6個の全条件で円形走査のRMSEが直線走査より小さく、平均約30%低減した。直線より安定に推定でき、円形走査が有効であることが示された。

RMSE: Root Mean Squared Error