

修正キルヒホッフマイグレーションを用いた超広帯域レーダによる乳がんイメージング技術

Breast Cancer Imaging Using Modified Kirchhoff Migration and Ultra-Wideband Radar

阪本 卓也^{1,2,3}
Takuya Sakamoto

宋 航⁴
Hang Song

吉川 公磨⁴
Takamaro Kikkawa

兵庫県立大学 大学院工学研究科¹

Graduate School of Engineering, University of Hyogo

京都大学 大学院情報学研究科³

Graduate School of Informatics, Kyoto University

ハワイ大学 マノア校 電気工学科²

Dept. of Electrical Engineering, University of Hawaii at Manoa

広島大学 ナノデバイス・バイオ融合科学研究所⁴

Research Center for Nanodevices and Systems, Hiroshima Univ.

1 まえがき

超広帯域レーダによる乳がんイメージングは安価かつ被爆の懸念・圧迫痛も無いため注目されている。近年、修正キルヒホッフマイグレーションによる高分解能レーダイメージング技術が報告されている [1, 2]。本稿では同手法を広島大学で開発された乳がんイメージングレーダシステムの測定データに適用し、その特性を調べる。

2 システムモデル

本研究では中心周波数 3.3GHz、-10dB 帯域幅 2.9GHz の超広帯域レーダシステムを用いる。送信・受信素子が各々 8 素子の MIMO アレーで構成され、素子アレー全体を機械的に 360 度回転することで等価的に多素子アレーを実現している。図 1 に示す乳房を模擬したファントム ($\epsilon_r = 6$) に乳がん組織を模擬した約 10mm の目標 2 つを配置する。目標位置はそれぞれ (60mm, 70mm, 30mm)、(90mm, 75mm, 20mm) とした。

3 修正キルヒホッフマイグレーション

位置 r における修正キルヒホッフマイグレーション画像 $I(r)$ は次式により与えられる [1, 2]。

$$I(r) = \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{\partial R_1}{\partial n_1} \frac{\partial R_2}{\partial n_2} \frac{1}{R_1 R_2} \cdot \left\{ \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} s_0(r_1, r_2, t + \tau) + \frac{1}{c} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{\partial}{\partial t} s_0(r_1, r_2, t + \tau) + \frac{1}{R_1 R_2} s_0(r_1, r_2, t + \tau) \right\} dS_1 dS_2 \Big|_{t=0}, \quad (1)$$

ただし S_1 および S_2 はそれぞれ送信および受信アンテナ走査面、 r_1 および r_2 は送信および受信素子の位置、 $R_1 = |r_1 - r|$ と $R_2 = |r_2 - r|$ は伝搬距離、 n_1 および n_2 はそれぞれ S_1 および S_2 の法線方向パラメータ、 c は媒質中の光速、 $s_0(r_1, r_2, t)$ は送受信素子 r_1 および r_1 における受信信号、遅延時間 $\tau = (R_1 + R_2)/c$ である。

図 2 に従来の DAS(delay-and-sum) マイグレーションおよび修正キルヒホッフマイグレーションによる推定像を示す。最大値で正規化した 3 次元画像の -3dB 等高面を描画している。修正キルヒホッフマイグレーションに

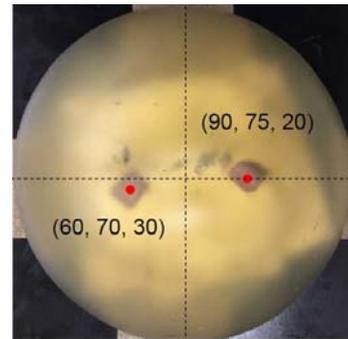


図 1 測定に用いる乳房および乳がん組織のファントム

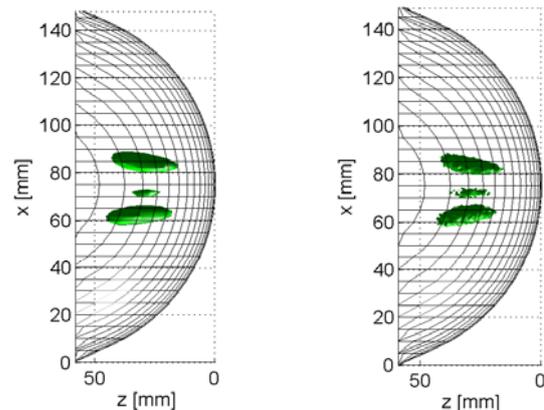


図 2 DAS マイグレーション (左) および修正キルヒホッフマイグレーション (右) による推定像

より、両目標とも像の広がりが小さくなり、特に z 方向では平均 19% の分解能改善が確認された。

謝辞

本研究の一部は平成 29 年度生体医歯工学共同研究拠点共同研究プロジェクト、京都大学 COI プログラム、科学研究費補助金 基盤研究 (A)25249057・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 の助成により実施された。

参考文献

- [1] T. Sakamoto, *et al.*, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 8, pp. 3502–3512, 2015.
- [2] X. Zhuge, *et al.*, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 6, pp. 2692–2703, 2010.