# 再帰的散乱波形歪み補正を用いた高精度誘電率推定法

Accurate Permittivity Estimation Algorithm Using Iterative Correction of Scattered Waveform Deformation

相馬 竜之介 Ryunosuke Souma 木寺 正平 Shouhei Kidera **桐本 哲郎** Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 大学院情報理工学研究科

Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

## 1 はじめに

UWB(Ultra Wideband) パルスレーダは,非破壊検 査や乳癌検知等の誘電体内部イメージングに有用であ る.既に誘電体内部イメージングのための高速誘電率 推定法として,RPM(Range Points Migration)法[1]の 誘電体境界推定点群及び同法線ベクトルを用いた伝搬 経路推定に基づく手法を提案し,その有効性を示した [2].しかし[2]では,波長規模の誘電体を想定する場合, 誘電体内部伝搬における波形歪みにより,誘電率推定 精度が劣化する.本稿では,上記問題を改善するため, FDTD(Finite Difference Time Domain)法による再構 成波形を用いた伝搬遅延補正に基づく誘電率推定法を提 案し,数値計算によりその有効性を示す.

### 2 システムモデル

図1 にシステムモデルを示す.目標及び誘電体は明瞭な境界を有するとする.送信電流はモノサイクルパルスとし,同中心波長を $\lambda$ とする.送受信素子位置を $r_{\rm TR} = (X, Z)$ で示す.受信素子を送受信素子に対して走査円中心に対称の位置 $r_{\rm R}$ に配置する.各受信信号に送信波形に基づくWienerフィルタを適用し,同出力を $S_{\rm tr}(X, Z, R), S_{\rm r}(X, Z, R)$ とする.但し,R = ct/2であり,tは時間,cは真空中の光速度である.

# 3 提案法

従来法 [2] は,  $S_{tr}(X, Z, R)$ から抽出される距離点群に Envelope 法を適用し,誘電体境界と同法線ベクトルを 得る.同情報と $S_r(X, Z, R)$ の極大値より抽出される距 離点群 $q_{r,i} = (X_{r,i}, Z_{r,i}, R_{r,i})$ から内部伝搬経路を推定 し,平均比誘電率値 $\tilde{\epsilon}_t$ を得る.しかし [2] は,散乱波形 歪みを考慮しないため,誘電体境界の形状によっては著 しく推定精度が劣化する場合がある.同問題を改善する ため,本手法では $\tilde{\epsilon}_t$ と推定誘電体境界を用いて,FDTD 法により散乱信号 $\tilde{S}_r(X, Z, R)$ を得る. $\tilde{S}_r(X, Z, R)$ と  $S_r(X, Z, R)$ の相関処理により距離補正値 $\Delta R(q_{r,i})$ を 求め,次式より,各距離点での推定比誘電率 $\epsilon_t(q_{r,i})$ を 修正する.

$$\epsilon_{\rm t}'\left(\boldsymbol{q}_{{\rm r},i}\right) = \left\{\sqrt{\epsilon_{\rm t}\left(\boldsymbol{q}_{{\rm r},i}\right)} + \frac{\Delta R\left(\boldsymbol{q}_{{\rm r},i}\right)}{L_{\epsilon}\left(\boldsymbol{q}_{{\rm r},i}\right)}\right\}^{2} \tag{1}$$

但し, $L_{\epsilon}\left(oldsymbol{q}_{\mathbf{r},i}
ight)$ は[2]によって推定される誘電体内の伝搬距離である.次式から推定比誘電率 $\hat{\epsilon}_{\mathrm{t}}$ を求める.

$$\hat{\epsilon}_{t} = \frac{\sum_{\boldsymbol{q}_{\mathrm{r},i} \in Q} \tilde{S}_{\mathrm{r}}\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{r},i}\right) \epsilon_{\mathrm{t}}'\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{r},i}\right)}{\sum_{\boldsymbol{q}_{\mathrm{r},i} \in Q} \tilde{S}_{\mathrm{r}}\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{r},i}\right)}$$
(2)

但し, $Q = \{ \mathbf{q}_{\mathbf{r},i} | | \epsilon_t' (\mathbf{q}_{\mathbf{r},i}) - \tilde{\epsilon}_t | < \Delta \epsilon_t \}$ であり, $\Delta \epsilon_t$ は設定閾値を示す.修正された比誘電率 $\hat{\epsilon}_t$ と前回推定値との差分が設定閾値を下回るまで上記処理を繰り返す.

### 4 数値計算による特性評価

図1の誘電体及び内部目標を仮定する.但し,誘電体 内の比誘電率は5.0,内部目標の導電率は10<sup>7</sup>S/mとす る.図2に従来法及び提案法により推定された比誘電 率のヒストグラムを示す.従来法による推定比誘電率は 4.24(相対誤差15.2%),提案法によるそれは4.75(相 対誤差5.0%)となり,散乱波形補正により推定精度が改 善されていることが確認できる.図3に各手法による推 定比誘電率を用いた内部イメージング像を示す.同図よ り,内部目標境界推定精度が改善されることが分かる.

### 5 むすび

再帰的散乱波形歪み補正を利用した誘電率推定法を提 案し,数値計算によりその有効性を示した.

#### 参考文献

- S. Kidera *et al.*, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 7, pp. 1993-2004, Apr., 2010.
- [2] R. Souma et al., APSAR 2011, pp. 359-362, Sep., 2011.



図 1 システムモデル及び誘電体境界推定点





