

多重散乱波を利用した単一素子による UWB レーダイメージング

Imaging method for UWB radars with a single antenna by using multipath waves

北村 堯之 阪本 卓也 佐藤 亨
Takayuki Kitamura Takuya Sakamoto Toru Sato

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻
Dept. of Communications and Computer Eng., Kyoto University

1 まえがき

近年、室内での電波の多重散乱を積極的に利用した通信の性能改善手法についての研究が注目されている [1]。一方、レーダ分野においても、アンテナレイによって多重散乱を利用した物体の位置推定が試みられている [2]。しかし、これまで単一アンテナによるレーダ技術については、目標の検出のみが検討されており [3]、画像化や位置決定についての検討はなされていない。本研究では、導体球による散乱電界には厳密解が存在することから、単一アンテナを用いて導体球による多重散乱を利用した目標の高精度位置推定法を検討する。

2 システムモデル

複数個の散乱導体球の位置を既知とし、微小目標を真空中に配置する。アンテナから中心周波数 3GHz のモノサイクルパルスを送信し、目標からの散乱波を同一アンテナで受信する。この受信波形から時間逆転法 [1] により目標の位置推定を行う。今回のシミュレーションでは、半径 3cm の導体球 3 個、各々の球中心位置を (2,-7), (8,-4), (-7,2)、目標位置を (2,100) とする。但し、アンテナ位置を原点とし、単位は全て cm とする。

3 単純な幾何光学法による画像化手法

目標による散乱波形を時間逆転した波形を送信する時間逆転法を用いる。空間の様々な位置に目標を仮定し、そのときの多重散乱経路の距離分だけ波形を時間シフトさせて足し合わせる。得られた波形の包絡線を光速 c により $f(ct)$ として、空間の各点 \mathbf{r} での評価値 $G(\mathbf{r})$ を次式で定義する。

$$G(\mathbf{r}) = \left| f(0) + \sum_{i=1}^n \left\{ f(2L_i) + f(L_i) + f(-L_i) + f(-2L_i) \right\} \right|^2 \quad (1)$$

この式は幾何光学散乱を仮定した時間逆転法に相当し、 $G(\mathbf{r})$ は目標が存在する位置で大きな値をとることが予想される。 n は既知導体球の個数、 $L_i(\mathbf{r}) = d_{i1}(\mathbf{r}) + d_{i2}(\mathbf{r}) - d(\mathbf{r})$ である。ここに、 $d(\mathbf{r}) = |\mathbf{r}_a - \mathbf{r}|$, $d_{i1}(\mathbf{r}) = |\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_i^s|$, $d_{i2}(\mathbf{r}) = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_i^s|$ であり \mathbf{r} の関数である (\mathbf{r}_a はアンテナ位置、 \mathbf{r}_i^s は i 番目の球での散乱中心) 図 1 に幾何光学法による目標位置推定の結果を示す。真の目標位置を黒丸で示す。目標位置が $\mathbf{r} = (-5.05, 99.8)$ と推定され、誤差は 0.705 波長である。分解能は約 1.7 波長である。

4 厳密解を利用した画像化手法

前節の問題を解決するために、導体球による散乱電界の厳密解 [4] を利用することでより精度のよい画像化を

試みる。空間の様々な位置に目標を仮定し、受信波形を時間逆転した波形を送信した際に受信する波形の包絡線 $f(ct)$ を厳密解を用いて計算する。評価値 $G(\mathbf{r})$ を前節同様に式 (1) で定義する。図 2 に厳密解を利用した目標位置推定の結果を示す。真の目標位置を黒丸で示す。目標位置が $\mathbf{r} = (0.996, 95.9)$ と推定され、誤差は 0.422 波長である。分解能は約 1.2 波長である。厳密解を利用することで精度は約 1.7 倍、分解能は約 1.4 倍改善され、より正確な画像化が可能であることがわかる。

参考文献

- [1] B. E. Henty *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 243904 (2004).
- [2] S. K. Lehman *et al.*, *Acoust. Soc. Am.*, **113**, 2742-2753 (2003).
- [3] J. M. F. Moura *et al.*, *IEEE Trans. Signal Process.*, **55**, 187-201 (2007).
- [4] J. J. Bowman *et al.*, *Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes*. Amsterdam: North-Holland publishing company (1969).

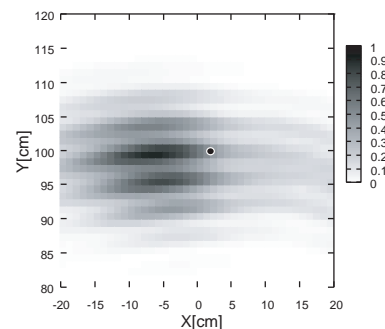


図 1 幾何光学法による画像化

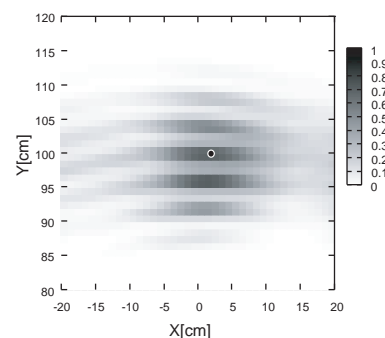


図 2 厳密解を利用した画像化