

SB-2-4 偏波FM-CWレーダによる地中埋没物体の検出

Detection of objects buried in sandy ground by a polarimetric FM-CW radar

森山敏文 山口芳雄 山田寛喜 藤本京平 仙石正和
 Toshifumi Moriyama Yoshio Yamaguchi Hiroyoshi Yamada Kyohei Fujimoto Masakazu Sengoku
 新潟大学工学部
 Niigata University

1. まえがき

レーダを用いた地中や雪中を探索する研究が盛んに行なわれ、実際に実用化されているレーダもある[1]。地中などは自由空間と違いクラッタの影響が大きく、物体の検出が困難となる。そのため、信号処理の工夫が必要となり、その手法として電波の持つベクトル性を最大限に利用するレーダポーラリメトリがある。我々は、FM-CWレーダにレーダポーラリメトリが適用できることを、自由空間中で示してきた[2]。今回の報告では、不均一媒質中である地中にレーダポーラリメトリを適用し、偏波フィルタとして物体検出に関する実験を行った[3]。その結果として、今まで地中レーダで問題であった地表面の反射を大きく抑圧できることを示す。

2. 偏波フィルタリング

2.1 レーダポーラリメトリ[2]

ある媒質偏波比 ρ の電磁波を物体に照射すると、その散乱波の偏波状態は一般的に入射波のものとは異なったものとなる。この偏波状態の違いは、その物体特有の散乱特性を表し、散乱マトリクス $[S(HV)]$ によって次のように表される。

$$E_s(HV) = [S(HV)] E_i(HV) \quad (1)$$

$$[S(HV)] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 E_i は入射波、 E_s は物体からの散乱波を表す。いま、送受信アンテナの偏波状態が同じCo-pol channelのときの受信電力 P^r を考えると次式のようになり、

$$P^r = |E_s(HV)|^T [S(HV)] E_i(HV) \quad (3)$$

この電力 P^r が最大、あるいは最小となるような物体の特徴的偏波状態が、次のように決定できる。

P^r : 最大のとき (Co-pol max)

$$\rho_{opt2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (4)$$

$$A = S_{HH}^* S_{HV} + S_{HV}^* S_{VV}, B = |S_{HH}|^2 - |S_{VV}|^2, C = -A^*$$

P^r : 最小のとき (Co-pol min)

$$\rho_{opt1} = \frac{-S_{HV} \pm \sqrt{S_{HV}^2 - S_{HH} S_{VV}}}{S_{VV}} \quad (5)$$

2.2 コントラスト

レーダで地中を探索する場合、得られる画像は地表やその中の影響を多く受けたものとなる。そのため、こちらが探したい物体を検出するためには、物体とその他ものと識別することが重要となる。その手法として、物体

の特徴的偏波状態を用いるものがある。これは、式(4)より物体からの受信電力を最大にさせるものである。一方、電力比によるコントラストを定義して調べてもよい。

$$C^r = \frac{P_1^r}{P_2^r} = \frac{|S_{1,HH} + 2\rho S_{1,HV} + \rho^2 S_{1,VV}|^2}{|S_{2,HH} + 2\rho S_{2,HV} + \rho^2 S_{2,VV}|^2} \quad (6)$$

ここで、添字1は強調したい物体、2は抑制したい物体を表す。コントラストを最大にするためには、

$$C \rightarrow \infty \Rightarrow S_{2,HH} + 2\rho S_{2,HV} + \rho^2 S_{2,VV} = 0 \quad (7)$$

とすればよく、このときの偏波状態は式(5)より簡単に求められる。これら二つの手法により、物体を強調することができる。

3. 合成開口FM-CWレーダ

FM-CWレーダは、線形に周波数変調した連続波を用い物体までの距離に比例したビート信号を計測するものである。物体がフレネル領域内に存在すると仮定すると、その反射係数 g は合成開口処理によって

$$g(x_0, z_0) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} U(x, z_0) h^*(x_0 - x, z_0) dx \quad (10)$$

で与えられる[4]。送受信アンテナの偏波の組み合わせにより、物体の散乱マトリクスは反射係数 g に対応して考えることができる。

$$[S(HV)] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{HH} & g_{HV} \\ g_{VH} & g_{VV} \end{bmatrix} \quad (11)$$

4. 実験

測定状況を図1に示す。測定対象物は長さ85cm、幅15cmの金属板であり、走査方向に対して約18度傾けてあり、地表面から下約38cm付近に埋まっている。偏波方向は、走査方向をHそれに垂直な方向をVとし、測定はH, HV, Wで行なった。図2の合成開口処理の結果をみると、H, HV偏波でのイメージでは、金属板が検出できているのわかる。W偏波では地表面の影響が大きく、ターゲットである金属板は、はっきり検出できていない。

ターゲットの特徴的偏波状態を用い、金属板のCo-pol maxのイメージングを行った結果を図3に示す。金属板の受信電力が強まっていることがわかるが、地表面の成分も依然強い。次に金属板と地表面のコントラストを考え、金属板のコントラストが最大になるようにイメージングを行った。図4に示す結果から地表面の反射をほぼ抑圧でき、金属板の位置が正確に現われている。

5. まとめ

不均一媒質である地中にレーダポーラリメトリを適用し、偏波フィルタとして使用できることが確認できた。また、地中レーダで従来問題であった地表面の反射もほぼ抑圧できることを示した。

今後は、遺跡探査などへの応用を検討する予定である。

謝辞

この研究の一部は文部省科学研究費の援助のもとでおこなわれたものであり、感謝致します。

文献

- [1] 関根, レーダ信号処理技術, 信学会, 1991
- [2] Yamaguchi, et al, "Fundamental Study on Synthetic Aperture PM-CW Radar Polarimetry," IEICE Trans Commun, E77-B, no.1, pp. 73-80, Jan 1994
- [3] 山口, 森山, 中西, 高柳, 山田, 藤本, "ポーラリメトリックFM-CWレーダによる地中埋没物体のイメージング-地表面反射の抑圧について-, "信学春季全大, B-30, 1994

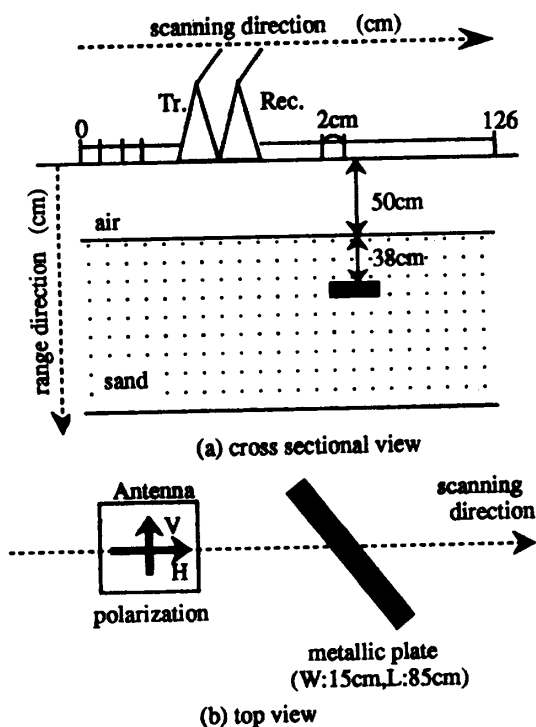


Fig. 1 Experimental scheme

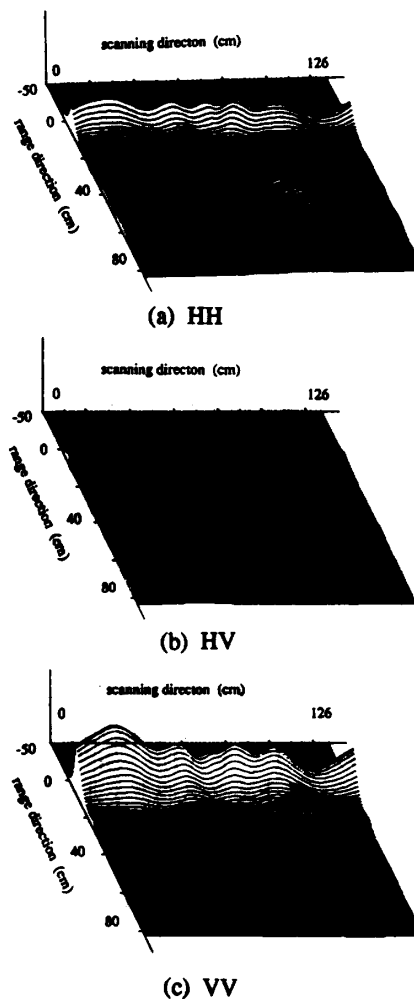


Fig. 2 Synthetic aperture image in the HV polarization basis

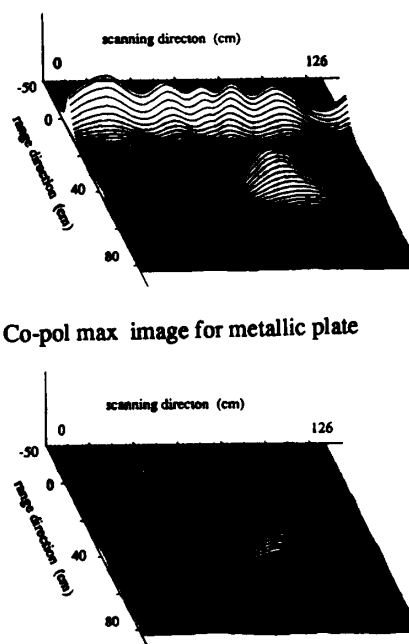


Fig. 3 Co-pol max image for metallic plate

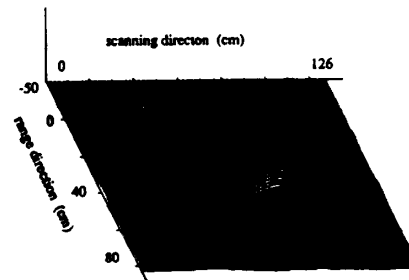


Fig. 4 Clutter reduced (Co-pol null for surface) image