

文章编号: 1001-2486 (2002) 01-0067-04

地表目标复合散射的强迫激励法分析*

刘培国¹, 孙华², 刘克成¹, 尹家贤¹, 刘继斌¹

(1. 国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073; 2. 海军工程大学, 湖北 武汉 430012)

摘要: 研究了强迫激励方法在电磁散射计算中的应用, 此方法将地表目标散射分析化为两步: 首先分析地面的散射, 再将地面的散射作为激励作用于目标, 从而得到地面背景下目标的电磁散射信号。应用强迫激励方法计算了地表背景下车体的时域电磁散射, 并与试验作了对比, 两者比较吻合。

关键词: 雷达; 散射; FDTD

中图分类号: TM15 文献标识码: A

Analysis of the Composite Scattering for Targets on the Ground

LIU Pei-guo¹, SUN Hua², LIU Ke-cheng¹, YIN Jia-xian¹, LIU Ji-bin¹

(1. College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. University of Naval Engineering, Wuhan 430012, China)

Abstract: A model called imposed excitation method for targets on the ground in time domain is described. The method comprises two steps: in the first step the scattering of the ground is calculated; in the second step the scattering of targets is calculated by imposing the scattering wave got at the first step upon the targets. A truck is involved in this paper. The scattering waves and RCS in VHF/UHF frequency are calculated. Good agreement between calculated and experimental results is obtained. It shows the effectiveness of the method.

Key words: radar; scattering; FDTD

对于探测地表目标的雷达, 如何分析大地及其与目标耦合是雷达信号处理的基础和关键。雷达回波中不仅包含目标回波, 同时还包含地面回波以及目标与地面耦合产生的回波。地面属于色散媒质, 分析地面上目标的宽频带散射, 在理论上分析地表目标散射的思路有两条^[3,5]: 在频域中计算可以得到单个频点上目标的散射特性, 在多个频点上计算, 然后经插值、傅立叶逆变换得到时间反射特性以及回波波形; 直接分析脉冲信号作用下目标的散射波形, 直接进行时域处理, 反演到频域, 一次计算可以得到所有频点的数据^[4]。对于电尺寸很大的目标, 在频域中, 几何绕射理论或物理绕射理论计算是比较简单的, 但是在低频段大多数目标不符合这样的条件, 必须采用其他办法。Ohio 大学和 Duke 大学运用矩量法计算过目标和树丛的模型^[1~3], 地面影响用复镜像法计算, 把大地作为非色散的均匀媒质, 是一种频域方法, 计算量繁重, 对大地的分析也不够准确。

1 强迫激励法建模步骤

强迫激励法分析地表复杂目标散射特性分两步: 第一步仅仅研究大地的散射特性; 第二步考虑地面与目标耦合, 研究目标的超宽带散射特性。因为时域方法比较适合宽带分析, 所以下面分析在时域中进行, 以说明此强迫激励法也适用于频域, 步骤与时域相同, 当然对于海面等环境下的电磁散射研究也同样适用。

1.1 单独考虑地面散射

单独考虑地面散射, 将地面看作色散、有耗、非均匀媒质。不失一般性, 可以将计算简化在二维

* 收稿日期: 2001-07-05

作者简介: 刘培国 (1969—), 男, 副教授, 博士。

空间进行(符合绝大多数情况),从而大大减小对计算机内存以及计算时间的要求,更重要的是,在二维空间分析地面散射,可以大大增加所考虑地面的尺寸(因为地面为无限大,用FDTD仿真时,要截断有限的尺寸),从而使结果更有效。

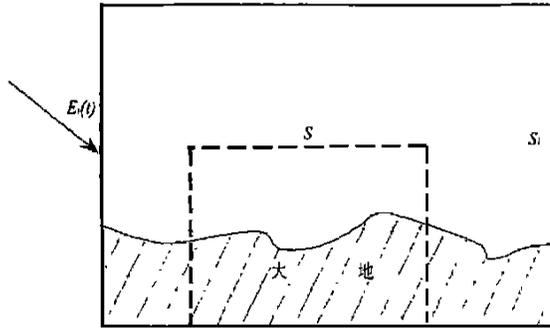


图1 单独考虑地面散射时的计算空间

Fig 1 Calculation space for ground

图1中粗实线方框 S_1 代表计算空间,虚线方框 S 是下一步的计算空间,大小必须充分包含待分析目标, $E_i(t)$ 代表入射电磁波。计算并存储 S 围成的封闭面上每一点的散射波 $E_s(t)$ 。当应用于频域时,则存储封闭面 S 上的等效散射电流的幅度与相位。

1.2 考虑地面与目标的耦合

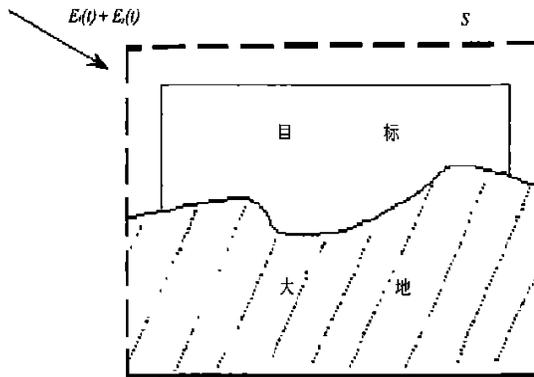


图2 考虑地面与目标耦合时的计算空间

Fig. 2 Calculation space for ground and target

计算空间如图2所示,目标置于虚线方框 S 内, S 内同时包括了一部分大地。由于地表目标的电磁散射作用可以看作在入射波和地面反射波共同作用下产生的,此时入射信号不仅仅是 $E_i(t)$,地面散射场 $E_s(t)$ 也作用于目标,所以 $E_i(t)$ 与 $E_s(t)$ 同时作为入射信号作用于目标,即地面散射场 $E_s(t)$ 作为强迫激励参与运算。由于此时计算空间内仍然保留一部分大地,所以目标与大地的相互耦合也得到了考虑。

注意此时的计算空间一般为三维空间,不同于第一步,所以要特别注意 S 表面上不同的点时延不同,以确定其 $E_s(t)$ 。

2 仿真与试验结果

计算采用FDTD方法与PML技术,入射信号为高斯脉冲。

2.1 地面散射

将地面看作是色散有耗介质,用色散的、FDTD方法得到某参数下的地面散射波形如图3。定义地面的传递函数:

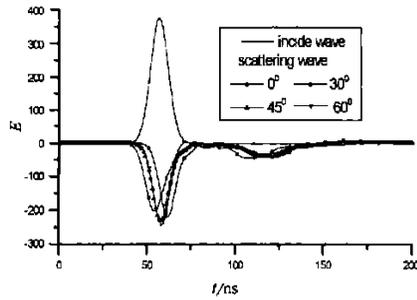


图3 地面散射波形

Fig. 3 Scattering waveform of ground

$$H(\omega) = \frac{S_r(\omega)}{S_i(\omega)}$$

其中 $S_r(\omega)$ 是地面散射波的傅立叶变换, $S_i(\omega)$ 是入射波的傅立叶变换。由地面的传递函数可以得到其有效反射系数。图4是信号从卡车侧面入射时计算得到的目标雷达散射截面(RCS)。

2.2 车体散射

分析目标是某型号卡车, 车体的主要尺寸为: 总长 6.45m, 宽 2.5m, 高 2.2m, 车厢 4.05m, 车室长 1.2m, 轮高 1m。对于不同角度的入射波, 计算车体散射波, 通过时频变换后可以计算车体的单站散射截面, 图4中信号从车头入射, 与地面的夹角为 0° 和 45° 。

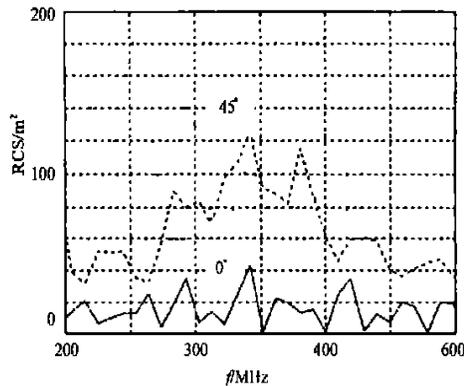


图4 卡车的雷达散射截面

Fig. 4 The RCS of truck

应用 UWBSAR 系统对目标试验, 得到的一维像以及计算结果如图5, 其中入射波与地面的夹角为 30° 。从图中可以看到一些明显的强散射部分。如图5(a)信号从车头入射时, 车头与地面构成二面角, 产生强反射; 坐舱反射也比较强, 而且由于坐舱为腔体, 所以此处反射有振荡; 车厢底板与后挡板也构成二面角, 所以也有较强的反射。图5(b)、(c)与此类似。

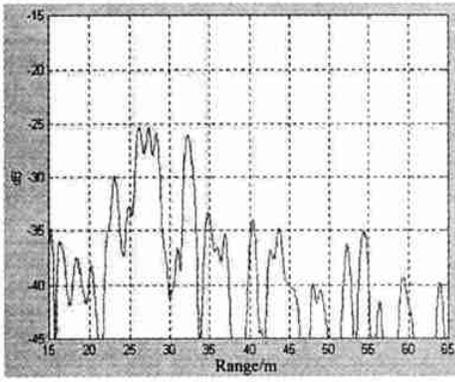
图5的左侧为轨道 SAR 测试结果, 右侧为 FDTD 计算结果, 可见两者吻合得相当好。

3 结论

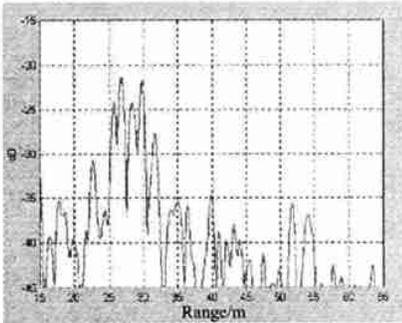
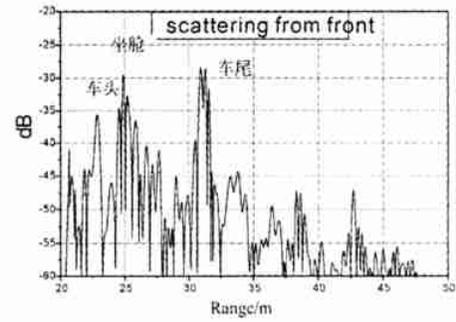
本文提出了分析地表目标的强迫激励方法, 并采用 FDTD 方法分析了地表车体的电磁散射, 得到了不同角度电磁波入射时车体的 RCS 及其微波像。与试验对比表明此方法是有效的, 从而为 SAR 成像、目标识别等研究提供了基础。

参考文献:

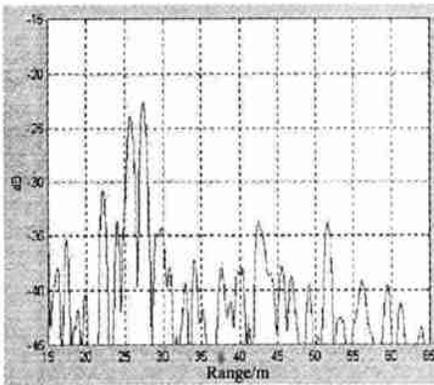
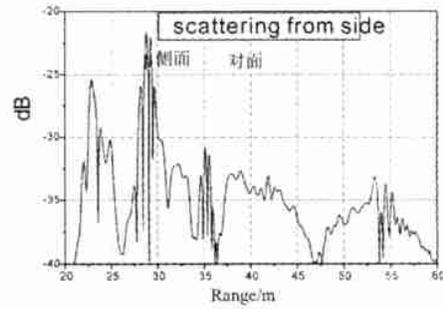
- [1] Rajagopal R. On Polarimetric Calibration for UWB Radar [C]. SPIE (3704) 1999. 4: 66-74.
- [2] Anders Sullivan, He Jiangqi. Phenomenological Modeling for FOPEN SAR: Tree-Trunk Scattering on Flat Terrain and with Concealed Targets



(a) 车头面反射



(b) 车侧反射



(c) 车尾反射

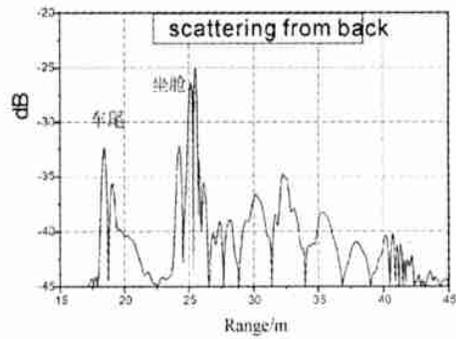


图5 车体的一维像

Fig. 5 One-dimension image of truck

[C]. SPIE (3721) 1999. 4: 224- 234.

[3] Geng N, Carin L. UWB SAR for Detection of Subsurface Unexploded Ordnance (UXO): Measurement Modeling and Signal Processing [C]. SPIE (3704) 1999. 4: 75- 83.

[4] Erik H. Lenzing, R. A. Pastore Jr. Ultra- Wide band Short- Pulse Electromagnetics [M]. 1994.

[5] Rouvier S, Borderies P. Ultra Wide Band Electromagnetic Scattering of a Fractal Profile [J]. Radio Science, 1997, 32 (2): 285- 293.