

# 基于等高线与植被图的后向散射系数估算方法

贺建文<sup>1</sup>, 王晟达<sup>1</sup>, 吴军<sup>1</sup>, 韩红<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 西安交通大学 电信学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:**通过对等高线与土地利用图的处理,建立了数字高程模型和土地类型数据库,提出了一种在大范围复杂地形条件下雷达地面归一化后向散射系数的估算方法。与实测数据对比,显示了这种方法的正确性。

**关键词:**数字高程模型;土地类型;后向散射系数

**中图分类号:**TN959.73 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)04-0081-04

对于机载下视雷达来说,关键问题是它对环境变化的适应性。地、海面杂波严重影响着雷达性能,削弱和消除杂波的干扰已经成为现代雷达技术的重点研究问题之一。国内外雷达工作者对地、海面杂波进行研究的主要方法有两种:进行实测和建立理论模型。从20世纪50~60年代起,少数经济发达国家,如美国,就利用车载、机载以及星载雷达系统对各种地貌做了后向散射特性的测试。但这需要投入大量的人力和物力,耗资较大。在理论模型的建立方面,主要有简化模型、植物模型、小平面模型和混合物介电常数经验模型等<sup>[1]</sup>。以上这些理论仅适用于单一地形或单一土地类型等简单情况,本文提出了一种在大范围复杂地形和多土地类型的条件下雷达波地面归一化后向散射系数 $\sigma_0$ 的估算方法。

## 1 后向散射系数估算方法的确定

雷达地面后向散射系数是两类参数的函数:一是雷达设备参数,如脉冲宽度、波束宽度、极化、频率等;二是雷达照射单元本身物理结构等方面的参数,如地形、土地类型 $\xi$ 等。在雷达参数确定的情况下,主要是考虑地形和土地类型对 $\sigma_0$ 的影响,其中地形决定了雷达照射单元的擦地角 $\psi$ ,这样我们建立了估算 $\sigma_0$ 的关系式:

$$\sigma_0 = \sigma(\psi, \xi) \quad (1)$$

由此,我们将计算后向散射系数的过程分为两大部分:一是建立数字高程模型(DEM)与相应的土地类型数据库,二是将不同的擦地角和土地类型带入公式(1)计算后向散射系数值。

## 2 估算后向散射系数的实现步骤

实现的思路如图1所示。

### 2.1 DEM的建立

#### 2.1.1 地图录入和预处理

将每块一定大小的1:100万等高线图和相应的土地利用图<sup>[2]</sup>进行扫描,保存为TIFF格式图形文件,并运用图象处理技术对存储文件进行预处理,除去扫描时引入的干扰。

#### 2.1.2 跟踪等高线

跟踪等高线是为了将其数字化。首先根据当前点周围8个方向点的灰度值形成一个(0,1)扫描矩阵,1

收稿日期:2003-05-28

基金项目:国家“973”课题资助项目(2001CB309405)

作者简介:贺建文(1978-),男,河南济源人,硕士生,主要从事信号与信息处理研究。

表示该点是可能移动到的下一点,0则表示与当前点无关。在这个基础上,按照单线跟踪原则,形成第二个(0,1)矩阵,按一定顺序,将当前点移到下一点,并赋给原点实际灰度值和高度值,重复上面步骤直至完成整幅图的跟踪。

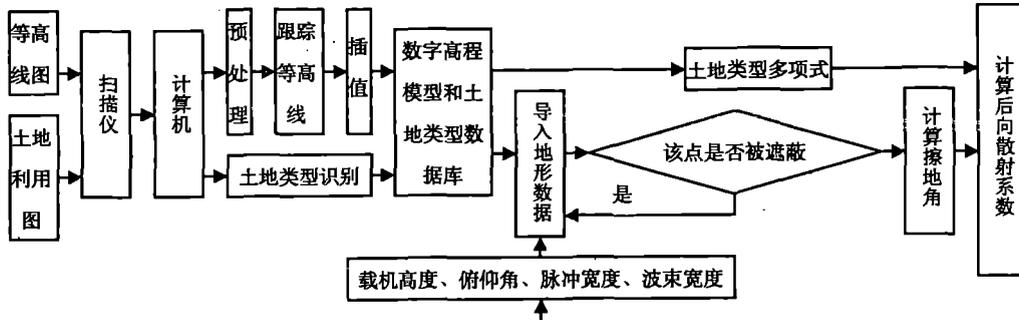


图1 后向散射系数计算流程图

### 2.1.3 插值

插值是为了赋值给高程未知的点。假设某点  $A$  向外搜索到等高线上  $n$  个有值的点,它们的高程分别为  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , 点  $A$  到这  $n$  个点的距离分别为  $r_1, r_2, \dots, r_n$ , 这样点  $A$  的高程  $z$  为

$$\begin{cases} z = \sum_{i=1}^n C_i Z_i & i = 1, 2, \dots, n \\ C_i = \frac{1/k_i}{\sum_{j=1}^n 1/k_j} = \frac{\prod_{j=1}^n k_j/k_i}{\sum_{j=1}^n (\prod_{j=1}^n k_j/k_i)} \\ k_i = (r_i - r_{\min}) + Q \end{cases} \quad (2)$$

从上式可以看出,  $\sum_{i=1}^n C_i = 1$  这是权系数的必要条件,权系数与距离成反比,其中  $r_{\min}$  为  $r_i$  中最小值,采用相对距离  $(r_i - r_{\min})$  增强了距离较近点的权重。为防止  $K_i$  为 0,加上常数  $Q$  进行了修正。这样经过插值就可以将一块地图的实际地形恢复出来。

### 2.2 土地类型识别与多项式拟合

土地类型识别是为了识别出土地利用图上每一象素点的土地类型。先提取地图上代表不同土地类型的 45 种颜色,把每种颜色存为一个图形文件,将这些文件作为识别土地类型时的模板库。然后将土地利用图分成与模板同样大小的若干小块,利用穷举法计算每一小块与 45 个模板之间的欧氏距离<sup>[3]</sup>,其计算公式为

$$d(x, y) = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中  $x_i, y_i$  分别为土地利用图和模板上每一象素点的信息。取得最小距离的模板所代表的土地类型,就是该小块的土地类型。

将 45 种模板的土地类型分为 9 大类:戈壁与沙漠、耕地、灌木、森林、草地、湿地、城镇与工矿区、冰川和裸土。本文针对  $C$  波段  $VV$  极化的情形,利用正交多项式最小二乘法<sup>[4]</sup>对一些国内外的相关数据<sup>[5-7]</sup>进行了多项式拟合,得到了 9 种土地类型多项式,它们都是  $\psi$  和雷达俯仰角  $\theta$  等的函数。

### 2.3 求遮蔽区和擦地角

第一步:求拐点矩阵和遮挡矩阵。

沿着雷达照射方向,将要进行后向散射系数计算的点抽象为以高程为参数的曲线(见图 2)。计算出每条曲线的拐点,赋值为 1,构成拐点矩阵。再根据拐点矩阵,求出被遮挡住的地方,得到一遮挡矩阵,其中未遮挡点的值设为 1。

第二步:计算擦地角

根据所求的遮挡矩阵,对值为 1 的点计算擦地角。计算的方法是:取其相邻的 4 点组成曲面并分成 2 个平面,根据 4 个点的高程值以及俯仰角,可得到 2 个擦地角,将其和相应的土地类型多项式带入公式(1),将

得到两个后向散射系数值,然后对其取均值。

### 2.4 计算雷达瞬时照射单元

与离散性目标相比,对于海洋、陆地等一类散射体来说,由于其具有延伸性、大面积的特点,雷达截面应该是平均意义上的。前面计算的后向散射系数是每个象素点对应的值,因此需要对其进行单元平均。经过分析表明,选取雷达波束照射在地面上所覆盖的区域(见图 3)来计算平均后向散射系数值是比较合理的。图 3 中,  $V_a$  为载机速度矢量;  $R$  为雷达到照射单元距离;  $\phi_e$  为半功率点仰角波束宽度;  $\phi_a$  为半功率点水平波束宽度;  $\tau$  为脉冲宽度;  $C$  为光速;  $S$  为照射单元面积;  $D_1 = 2R \tan(\phi_a/2)$ 。

根据不同的擦地角,可以将  $S$  的计算分为两类:

$$\text{当 } \tan(\psi) > \frac{2R \tan(\phi_e/2)}{c\tau/2} \text{ 时, } D_2 = 2R \sin(\phi_e/2) \csc(\psi), s = \frac{\pi}{4} D_1 D_2。$$

$$\text{当 } \tan(\psi) < \frac{2R \sin(\phi_e/2)}{c\tau/2} \text{ 时, } D_2 = (c\tau/2) \sec(\psi), S \approx D_1 D_2。$$

结合实际地形 DY,计算了它的非遮蔽区中每个点对应的雷达瞬时照射单元,再投影到平面上并经过比例尺转换,  $D_1$  在区间(423.3 m, 592.7 m)的比例为 89%,  $D_2$  在区间(389.5 m, 558.8 m)的比例为 85%,根据地图与地形的对应,取  $3 \times 3$  的象素区域进行平均。

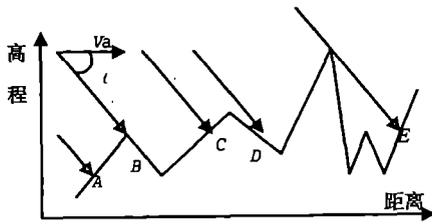


图 2 高程剖面图

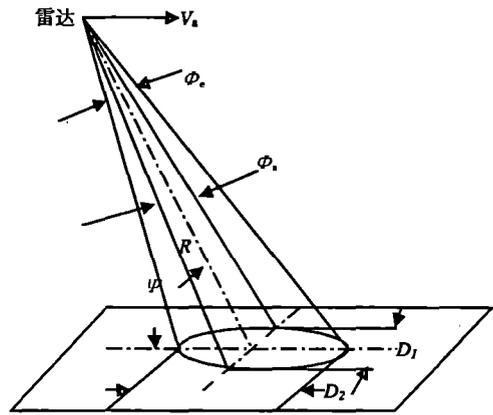


图 3 雷达瞬时照射图

## 3 计算结果与分析

我们对地区 DY 进行了计算,得到了表 1 ~ 表 4 的结果。所用到的参数为  $V_a = 300 \text{ m/s}$ ,  $\phi_e = 5^\circ$ ,  $\phi_a = 2.8^\circ$ ,  $\tau = 2.0 \mu\text{s}$ , 载机高度 8 000 m。

表 1 不同航向  $\Delta\sigma_0$  分布表 (%)

$\Delta\sigma_0/\text{db}$	BN - XD	NB - XD	DX - XD	NB - BN
(0,2)	55.52	56.99	58.44	61.66
(2,5)	27.82	28.40	26.50	25.85
(5,10)	9.87	8.89	8.75	8.37
>10	6.79	5.72	6.31	4.12

表 2:不同  $\theta$  角  $\Delta\sigma_0$  分布表 (%)

$\Delta\sigma_0/\text{db}$	30 - 45	30 - 60	60 - 45
(0,2)	57.16	49.16	63.03
(2,5)	27.17	23.06	27.55
(5,10)	6.08	15.42	6.27
>10	9.59	12.36	3.15

表 1、表 2 是对 26 万个数据的统计结果。表 1 中 BN、NB、DX、XD 分别表示载机的四种航向。每一行表示对于同一块雷达照射单元不同航向时后向散射系数的差值。由表 1 可知,不同航向的差值值大约有 40% 不在区间(0,2)中,因此地形的影响不可忽略。表 2 中每一行表示不同  $\theta$  时的  $\Delta\sigma_0$  值。由表 2 可知,  $\theta$  角对后向散射系数也有一定的影响。

表 3、4 是在  $\theta = 45^\circ$ , 航向为由西向东时的统计值,与遥感卫星 ERS - 1 散射计的数据<sup>[8]</sup>对比可得出所求的森林后向散射系数比较吻合,草地有一定的差别。对 ERS - 1 和 ERS - 2 数据<sup>[9]</sup>分析可知,由于测试时

间的不同,二者测得的同一土地类型的后向散射系数值相差 2 dB 甚至更多。由于 ERS-1 数据为某一固定时间的测得值,且入射角为  $18^\circ \sim 90^\circ$ ,而我们求出的值为  $45^\circ$  时四个季节的平均值,并且取平均的单元不同,因此存在一定差别。

表 3 森林的后向散射系数分布表(总数据个数 12 万)

后向散射系数/dB	0 > 5	(-5, -7)	(-7, -8)	(-8, -10)	(-10, -12)	< -12
所占百分比	0.01	53.11	23.70	13.63	5.13	4.42

表 4 草地的后向散射系数分布表(总数据个数 4 万)

后向散射系数/dB	0 > -7.2	(-7.2, -9.2)	(-9.2, -11.2)	(-11.2, -12.7)	< -12.7
所占百分比	0.54	4.93	85.44	7.26	1.83

## 4 结论

本文提出的估算方法着眼于总体地形、地貌特性,特别适用于复杂地形如山脉、森林区等大杂波区域后向散射系数值的估算。它的特点是:速度快,耗资少,可取得大范围地面后向散射系数数值分布,具有极好的实用性和明显的军事、经济效益。

### 参考文献:

- [1] M W 朗. 陆地和海洋的雷达反射特性[M]. 陈春林, 顾昌贤. 北京: 国防工业出版社, 1983.
- [2] 中国土地利用图编辑委员会. 中国土地利用图[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [3] 孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002.
- [4] 欧阳联渊. 计算机数值计算方法[M]. 西安: 空军工程学院, 1994.
- [5] Ulaby F T, Dobson M C. Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain [M]. MA: Artech House, 1989.
- [6] 乌拉比 F T, 穆尔 R K, 冯健超. 微波遥感(第二卷)[M]. 黄培康, 汪一飞. 北京: 科学出版社, 1987.
- [7] Skolnik M. Radar Handbook (Second Edition) [M]. New York: McGraw - Hill Comp, 1990.
- [8] 王湘云, 王超, 郭华东, 等. ERS-1 散射计数据陆地应用研究——中国陆地雷达后向散射系数的分布特征[J], 科学通报, 1998, 43(18): 2013 - 2017.
- [9] 廖静娟, 郭华东, 邵芸, 等. 干旱 - 半干旱地区地表特征探测的成像雷达干涉测量方法与模型[J], 遥感学报, 2002, 6(6): 430 - 435.

(编辑: 姚树峰)

## An Evaluating Method of Backscattering Coefficient Based on Contour Lines and Land - use Map

HE Jian - wen<sup>1</sup>, WANG Sheng - da<sup>1</sup>, WU Jun<sup>1</sup>, HAN Hong<sup>2</sup>

( 1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China )

**Abstract:** Through the analysis of contour lines and land - use map and establishing digital elevation model and land type database, this paper presents an evaluating method of evaluating the backscattering coefficient on radio waves unitary under the conditions of a complicated large scale area.

**Key words:** digital elevation model; land type; backscattering coefficient