

ERS—1 SAR 影像森林应用研究初探*

李增元 车学俭 刘 闽 白黎娜 谭炳香

摘要 本研究利用1992年成像的覆盖山东省烟台地区的ERS—1 SAR和TM资料开展工作。研究中首先将这两种遥感资料进行了几何精纠正和与地形图的配准,尔后,用典型相关分析法对遥感资料(ERS—1 SAR、TM3、TM4和TM7)与森林参数(包括平均树高、胸径、枝下高、冠层厚度和郁闭度)间进行了相关分析研究,结果表明,C波段的ERS—1 SAR资料与森林冠层厚度和平均树高相关程度较高;森林参数综合因子对ERS—1 SAR影像的影响大于对所用TM波段的影响,说明ERS—1 SAR资料在森林应用中,对森林参数乃至森林蓄积量的估测是有潜力的。

关键词 ERS—1 SAR、TM、森林参数、典型相关分析

星载SAR(Synthetic Aperture Radar,合成孔径雷达)的森林应用研究始于1978年 Seasat SAR发射。随着1981年SIR—A、1984年SIR—B的升空,它的成像机理及应用研究渐趋活跃。

由于SAR具有全天时、全天候、主要反映结构信息的特点,而这些是可见光、红外遥感不具备或难以做到的。因此,它的应用领域在不断拓宽,应用方法、技术发展迅速。尤其是自1991年前苏联的“金刚石”SAR、欧空局的ERS—1 SAR、1992年日本的JERS—1 SAR的发射,更呈现出令人瞩目的发展趋势。

近年内,美国的SIR—C/X SAR、加拿大的商业性雷达卫星(Radarsat)SAR等将陆续进入轨道,这无疑会促进各领域对其机理和应用技术进行更深入的研究。90年代是航天雷达的遥感时代,这已为世界诸多发达国家所定论。我国为了追踪星载SAR应用的国际水平,在有关部门支持下特设立了《星载SAR应用研究》项目。开展了这方面的研究工作。

我国在这方面的研究起步较晚,报道很少,仅见机载SAR的应用研究^[1]。对星载SAR,尤其是ERS—1 SAR的研究未有文献发表。基于此,我们于1992年,在山东省烟台地区对SAR资料在森林应用方面进行了分析研究,试验中将TM影像作为辅助资料,进行了ERS—1 SAR和TM与森林参数间的相关分析,拟从定量角度说明森林参数对ERS—1 SAR成像的作用,以期探讨该影像的森林成像机理。

1 试验区概况

烟台市位于山东半岛东部,地理位置为:119°34'~121°57' E,36°16'~38°23' N。

该区地形属起伏和缓、谷宽坡缓的波状丘陵区。地势总的趋势是中部高,南、北低。北部地势较陡,南部地势相对平缓。全市山脉属长白山山系。

1994—07—21收修改稿。

李增元副研究员,车学俭,刘闽,白黎娜,谭炳香(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091)。

* 本文属“八五”国家863项目“星载SAR的森林应用研究”。本研究在外业工作中得到北京大学曾琪明博士、山东省林业勘测设计院王建体等同志的帮助,内业分析中,唐守正研究员曾予指导,在此一并致谢。

本区土壤以棕壤为主。气候属暖温带季风型大陆性气候,年均降水量 668.1 mm,降水量变率大,58%~65%集中在夏季,时空分布不匀,四季相差悬殊;年均气温为 11.8℃,冬暖夏凉温差小。

本区树种以针叶林为主,主要树种为:赤松(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.);黑松(*Pinus thunbergii* Parl.);落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.);侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco);阔叶林分布较少,主要为:麻栎(*Quercus acutissima* Carr.);刺槐(*Sophora japonica* L.);杨类(*Populus* L.)。林龄结构中,幼龄林占整个林分面积的绝对优势(72.3%),中龄林较少,占 23.3%,成熟林仅占 4.4%。

本研究中,主要在栖霞县境内进行采样。

2 数据的获取和处理

2.1 数据获取

2.1.1 ERS—1 SAR 数据 试验所用 ERS—1 SAR 数据成像时间为 1992 年 4 月 19 日,该景数据中心坐标为 37°23'49" N,120°52'01" E,数据产品参数见表 1。

2.1.2 TM 数据 用同年度成像且覆盖 ERS—1 SAR 范围的一景 TM 数据,作为辅助资料,参与 ERS—1 SAR 与森林参数相关分析。

2.1.3 森林参数数据 在外业中,我们选取了 35 块样地,样地大小为 50 m×50 m。结合遥感影像,我们把所选样地准确标定在 1:5 万地形图上。样地中我们测定了平均树高、胸径、枝下高、冠层厚度和郁闭度。

表 1 ERS—1 SAR 影像 PRI* 产品技术参数

频 率	极 化	入射角	空间分辨率(m)	象元大小(m)	带宽(km)
5.3GH(C 波段)±0.2MH	VV	23°(中幅区)	地距<33;方位<30	12.5×12.5	100×102.5

* PRI; Precision Image。

2.2 数据处理

2.2.1 ERS—1 SAR 图像的几何变形和斑点噪声 这无疑在森林的应用中受到限制,为了克服此缺点,对图像进行了斑点噪声去除和几何精纠正处理。

2.2.1.1 斑点噪声去除 经过几种滤波方法的对比分析,考虑在平滑斑点的同时,尽量多地保留边缘和纹理信息,对 ERS—1 SAR 图像用如下步骤和方法进行了处理:

(1)二维中值滤波:用 $M \times N = 3 \times 3$ 的滤波窗口。该法是将滤波窗口内的像元值都按灰度大小顺序排列,并找出其中的中位数灰度值,将此中位数灰度值代替窗口内中心像元的灰度值,这样对中心像元上二维滤波就算完成了。如此按行方向将窗口移动一个像元位置,对同行右移一个像元位置的像元继续进行二维中位数滤波,一行作完再移向下一行,直到处理完整个图像为止。

(2) σ 滤波:设 $X_{i,j}$ 为像元 (i, j) 处的灰度值, $X'_{i,j}$ 为平滑后像元的灰度值,设噪声遵从具有零均值和标准差 σ 的正态分布,则 σ 滤波可概括为如下步骤:

①设立密度范围 $(X_{i,j} - \Delta, X_{i,j} + \Delta)$, 其中 $\Delta = 2\sigma$;

②将 $(2n+1) \times (2m-1)$ 窗口内的上述密度范围内的所有灰度值相加;

③计算②中像元的均值,即将②中的结果除以窗口中属于 $(X_{i,j}-\Delta, X_{i,j}+\Delta)$ 范围的像元数目;

$$\delta_{k,l} = \begin{cases} 0 & X_{k,l} > X_{i,j} + \Delta \text{ 或 } X_{k,l} < X_{i,j} - \Delta \\ 1 & X_{i,j} - \Delta \leq X_{k,l} \leq X_{i,j} + \Delta \end{cases} = \frac{\sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} \delta_{k,l} \cdot X_{k,l}}{\sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} \delta_{k,l}}$$

④ $X_{i,j} = X'_{i,j}$

接着用二倍标准差法进一步去除斑点噪声,由于 95%左右的像元灰度值都在二倍标准差以内,所以将大于二倍标准差的点作为斑点噪声处理,采用的方法为:

$$C_{i,j} = \begin{cases} C_{i,j} & \text{(二倍标准差以内)} \\ \text{相邻 5 个像元的均值} & \text{(二倍标准差以外)} \end{cases}$$

经该法处理后,图像的斑点噪声明显减少;最后用分段线性拉伸法进行了拉伸处理。

2.2.1.2 几何精纠正 通过几何途径建立构像模型,用控制点通过平差运算解求定向参数,利用 DTM 纠正因高差引起的几何变形,最终形成了正射影像图。

2.2.2 TM 数据 用控制点将 TM 数据与 1:5 万地形图配准。完成了 ERS-1 SAR、TM 影像与 1:5 万地形图的配准。

2.2.3 森林参数与 ERS-1 SAR 和 TM 数据相关分析 用典型相关分析法^[2,3]。通过多元随机变量 X, Y 在 N 个样本上的值,计算自变量和因变量之间典型相关系数和典型判别系数(典型方程系数),从而化 X, Y 为典型变量。

设有两组变量: $X = (X_1, X_2, \dots, X_q)$ 为自变量; $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)$ 为因变量

欲求系数 (a_1, a_2, \dots, a_q) 和 (b_1, b_2, \dots, b_p) , 使综合变量

$$Z = a_1 X_1 + \dots + a_q X_q; \quad W = b_1 Y_1 + \dots + b_p Y_p$$

之间的相关系数达到最大,则称 Z, W 为一典范变量。系数 (a_1, a_2, \dots, a_q) 和 (b_1, b_2, \dots, b_p) 称为典型判别系数。

在 TM 波段的选择中同样考虑了波段间的关系,选择了 TM3(Y_2)、TM4(Y_3)和 TM7(Y_4)三个相关程度较低的波段,与 ERS-1 SAR(Y_1)资料一起参与图像灰度和森林参数[平均树高(X_1)、胸径(X_2)、枝下高(X_3)、冠层厚度(X_4)和郁闭度(X_5)]间的相关分析。

3 结果分析和讨论

星载 SAR 系统用于监测陆地生态系统的标志是它们测定地上生物量差异的潜力。评价该潜力,应采取一些步骤^[4],首先,应研究雷达特征与有兴趣的生物物理参数间的关系;其次应发展和评价决定因果关系的假设;最后应发展和验证从 SAR 资料中获得期望参数的技术。

在将星载 SAR 资料用于森林生态系统的研究中,最有效的方法是将其与其它遥感信息源相结合。这是因为单纯的单波段、单极化的 ERS-1 SAR 资料对陆地类型的分类并非理想,但它可提供木质部分生物量的信息,而 TM 或 SPOT 资料含有类型信息较多,但对木质生物量变化反映不敏感,因此,将两者结合应用,将有助于森林分析。研究中辅以了 TM 资料,进行了 ERS-1 SAR 和 TM 资料与森林参数间的相关分析,结果见表 2。

从表中看出,林分平均树高与 ERS-1 SAR 呈正相关,而且相关程度较高,说明随着树木高度的增加,会引起表面粗糙度的加大,显然 ERS-1 SAR 图像上的亮度也会增强。树高与

表2 ERS-1 SAR、TM 影像与森林参数间的相关系数

项 目	树 高	胸 径	枝 下高	冠层厚度	郁 闭度
ERS-1 SAR	0.313 6	0.178 4	0.173 5	0.314 8	0.277 4
TM3	-0.023 4	0.168 7	-0.286 2	0.138 5	0.461 3
TM4	-0.243 3	-0.130 1	-0.649 5	0.058 2	0.395 3
TM7	-0.377 7	-0.347 7	-0.649 9	-0.003 3	0.347 6

TM 几个波段间相关系数表明,它们间呈负相关,且以 TM3 相关程度最低, TM7 为最高。

在与胸径的相关分析中,显示出 TM7 波段与其呈负相关,相关程度最高,ERS-1 SAR 相关程度居第二,且呈正相关。

研究表明,枝下高与 TM 资料相互关系较 ERS-1 SAR 为密切,而冠层厚度则相反,即以 ERS-1 SAR 为最高,其次为 TM3、TM4 与 TM7,且与 TM7 呈负相关。

郁闭度与试验所用遥感资料呈正相关。在关系程度中, TM3 波段最高,其次为 TM4 和 TM7 波段,ERS-1 SAR 最低。

在山东试验区,片林中幼龄林占绝对优势,中龄林很少,而成熟林很难看到。就这种情况而言,树木高度的差别,主要由冠层的厚、薄引起,而枝下部分的影响较小,这可由它们间的相关分析证实(表3)。

表3 森林参数间的相关系数

项 目	树 高	胸 径	枝 下高	冠层厚度	郁 闭度
树 高	1.000 0	0.604 0	0.544 9	0.703 9	0.145 1
胸 径	0.604 0	1.000 0	1.629 0	0.500 9	0.091 5
枝 下高	0.544 9	0.629 0	1.000 0	0.279 0	0.151 6
冠层厚度	0.703 9	0.500 9	0.279 0	1.000 0	0.103 9
郁 闭度	0.145 1	0.091 5	0.151 6	0.103 9	1.000 0

对 ERS-1 SAR 而言,由于其波长较短(C 波段)。故而穿透能力较弱,在雷达回波中,来自自由枝条和叶组成的树冠层的后向散射占优势^[5~8],先前建立模型的研究^[5,9]也证实了 C 波段的微波散射是发射的微波能量与树冠中的成份(枝条和叶)相互作用的结果。因此,对于成熟林,因其树冠层较厚,C 波段的雷达回波不能穿透树冠层较深处,所以其雷达回波主要来自于树冠层的较上部分,然而,对幼林来说,ERS-1 SAR 穿透性可使整个树冠层对雷达回波起作用,显然,C 波段的 ERS-1 SAR 在幼林的应用中比成熟林要有效。

分析相关程度最高的第一对典型变量(典型相关系数为 0.668 6),获得如下结果:

森林参数: $Z_1 = 0.032 3X_1 - 0.010 3X_2 - 0.032 2X_3 - 0.031 9X_4 + 0.435 3X_5$

ERS-1 SAR 和 TM: $W_1 = 0.190 1Y_1 + 0.054 3Y_2 - 0.041 4Y_3 + 0.090 2Y_4$

对森林参数综合因子(Z_1)而言,起主要作用的是 X_5 (郁闭度)、 X_1 (树高)、 X_3 (枝下高)和 X_4 (冠层厚度);而在综合遥感资料中起主要作用的是 ERS-1 SAR,由此可得出各森林参数对 ERS-1 SAR 影像的影响大于对 TM3、TM4 和 TM7 波段的影响。

4 初步结论

(1)ERS-1 SAR 图像与树冠层厚度和树高相关程度较高,而 TM 的三个波段与郁闭度

和枝下高度关系较密切。

(2)ERS—1 SAR 图像对森林参数综合变化的反映较 TM3、TM4 和 TM7 波段为敏感。这说明 ERS—1 SAR 影像在森林应用中对森林参数、乃至森林蓄积量的估测较 TM 为好,有一定的应用潜力和应用价值。

参 考 文 献

- 1 李留瑜,李克谓,唐小平,等. 机载合成孔径侧视雷达图像应用于森林资源调查可行性研究. 环境遥感,1989,4(1):3~17.
- 2 唐守正. 多元统计分析方法. 北京:中国林业出版社,1989. 90~101.
- 3 郎奎健,唐守正. IBMPC 系列程序集:数理统计、调查规划、经营管理. 北京:中国林业出版社,1989. 473~476.
- 4 Kasischke E S, Christensen N L. Connecting forest ecosystem and microwave backscatter models. Int. J. Remote Sensing, 1990, 11(7):1277~1298.
- 5 McDonald K, Dobson M C, Ulaby F T. Modeling multifrequency diurnal backscatter from a walnut orchard. IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 1991, 29:852~863.
- 6 Paris J F. Probing thick vegetation canopies with a field microwave scatterometer. IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 1986, 24:886~893.
- 7 Mougin E, Lopez A, LeToan T. Microwave propagation at X—band in cylindrical—shaped forest components: attenuation observations. IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 1990, 28:60~69.
- 8 Dobson M C, Ulaby F T, LeToan T, et al. Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 1992, 30(2):412~415.
- 9 Ulaby F T, Sarabandi K, McDonald K, et al. Michigan microwave canopy scattering model. Int. J. Remote Sensing, 1990, 11(7):1223~1253.

Preliminary Research on the Application of ERS—1 SAR in Forest

Li Zengyuan Che Xuejian Liu Min Bai Lina Tan Bingxiang

Abstract The data sets used for this study were obtained over the Yantai region in Shandong Province by ERS—1 SAR and TM during the period of 1992. Those remote sensing data were geometrically corrected and digitally registered. The relationship between ERS—1 SAR, TM data and forest parameters was analysed by using the method of canonical correlation analysis. The results showed that there was a close correlation between C—band of ERS—1 SAR data and crown thickness and average tree height, which indicated that the influence of various forest parameters on ERS—1 SAR image was bigger than that on TM image. So there is a great potential of applying ERS—1 SAR data for estimating forest parameters, even forest volume.

Key words ERS—1 SAR, TM, forest parameters, canonical correlation analysis

Li Zengyuan, Associate Professor, Che Xuejian, Liu Min, Bai Lina, Tan Bingxiang (The Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF Beijing 100091).