

文章编号: 1007-4619(2006)05-0722-05

基于几何特性和辐射特性的 HJ-1C 星 SAR 图像模拟

陈 权^{1, 2}, 李 震¹, 魏小兰^{1, 2}

(1. 遥感科学国家重点实验室, 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 中国自主研发的环境减灾小卫星星座中的雷达卫星(HJ-1C), 频率设计在 S 波段, 采用 VV 极化方式, 入射角范围是 25° — 47° 。根据 HJ-1C 的轨道参数和雷达传感器的系统参数, 利用高精度的 DEM 数据(30m), 结合地物分类数据(20m), 综合考虑几何模型和辐射模型, 模拟了该雷达卫星上的 SAR 图像。HJ-1C 星 SAR 图像的模拟, 使在该卫星发射前, 能对数据产品有一个初步的认识, 并可在雷达系统的设计和验证、图像的解译和新算法的测试等多个方面得到应用。

关键词: 图像模拟; SAR; HJ-1C

中图分类号: TP722.6 **文献标识码:** A

HJ-1C SAR Image Simulation Based on Geometrical and Radiometric Characters

CHEN Quan^{1, 2}, LI Zhen¹, WEI Xiao-lan^{1, 2}

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University Beijing 100101, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049, China)

Abstract: HJ-1C is a component of HJ satellites which are developed in China. HJ-1C SAR has a frequency of S-band, VV polarization, and incidence angle from 25° — 47° . Based on configuration parameters of HJ-1C and SAR sensor, image simulation was performed using high-resolution DEM (30m) and classification data (20m) in this paper, combining geometrical and radiometric characters of SAR image. This work will give us a primary impression on HJ-1C products before the satellite being launched. Furthermore, the simulated image will benefit to the design and validation of sensor system, image interpretation and new algorithms test, etc.

Key words: image simulation; SAR; HJ-1C

1 引 言

雷达图像模拟技术, 是根据一定的地面实测资料、传感器轨道参数和雷达成像系统参数, 按照雷达

成像原理, 根据一定的后向散射模型, 获得模拟的雷达图像^[1]。雷达图像的模拟可用于测试不同成像参数对雷达图像的影响, 用于系统的设计和验证; 利用模拟图像, 可以实现高精度 DEM 和雷达图像的精确定准; 利用模拟技术建立目标的成像样本, 可用于

收稿日期: 2006-04-10; 修订日期: 2006-05-26

基金项目: 国防科学技术工业委员会项目(编号: KJSX0303), 中国科学院百人计划项目(编号: KZCX0415), 国家教育部留学回国人员科研启动基金重点项目(编号: HX040013), 国防科学技术工业委员会项目(编号: KJSX0401)。

作者简介: 陈 权(1980—), 男, 2003年毕业于武汉大学遥感信息工程学院摄影测量与遥感专业, 获学士学位。现于中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室攻读博士学位, 主要从事雷达遥感研究。

雷达图像上目标的识别;可将模拟的雷达图像用于图像处理、特征提取以及参数反演中新算法的测试等多个方面^[2]。

HJ-1C 星的轨道高度接近 500km,其 SAR 传感器工作在 S 波段, VV 极化方式,入射角范围是 25°-47°。本文根据这些系统参数,结合高精度 DEM 数据(30m),以特征模拟方法为基础,通过雷达成像的几何模型和简单的辐射模型得到模拟雷达图像。最后,根据地物分类数据(20m),针对特定的地物,对模拟图像的灰度进行不同程度的调整,使模拟的图像更加逼真。

2 几何模型的建立

图像模拟中的几何问题,实际上是要实现从 DEM 上的三维坐标 (X, Y, Z),转换成 SAR 图像上的二维坐标 (X', Y')。其中, X 和 Y 分别定义为 DEM 的指东和指北轴, Z 定义为 DEM 的高程轴; X' 和 Y' 分别为图像的方位向和距离向坐标。传统的 SAR 图像模拟方法,是根据距离-多普勒原理进行斜距成像,得到的是侧视图像,而不能像光学遥感可以采用正下视的方式,因此,成像地区的地形起伏引起的 SAR 图像几何变形十分明显^[3]。本文利用 B. Guindon^[4-6]提出的几何模型,实现了由 DEM 坐标到雷达正射投影坐标的转换。当原点选为距离卫星最近的 DEM 角点时, SAR 图像上的方位向坐标可以表示:

$$Y' = X \sin(\Omega) - Y \cos(\Omega) \quad (1)$$

式中,轨道方位角 Ω 是轨道方向与指北方向的夹角,取顺时针方向为正。

图像上的距离向坐标 (X') 比较复杂。如图 1 所示, A 和 B 两点在一次成像过程中的方位向坐标相同,但距离向坐标不同,两点在地球表面上的距离为 D, S 表示传感器的位置, O 表示地球球心。根据三角形内正弦定理, OA 与 OS 之间的夹角可表示为:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \phi - \arccos\left[\frac{(R_E + H)}{R_A} \sin(\phi)\right] \quad (2)$$

式中, R_E 表示地球的半径, R_A 表示 A 点到地心的距离, ϕ 表示从传感器到 A 点的俯角, H 表示卫星飞行高度。A 和 B 两点的地心夹角可表示为:

$$\alpha = \frac{D}{R_E} \quad (3)$$

根据余弦定理, S 与 B 点间的距离可表示为:

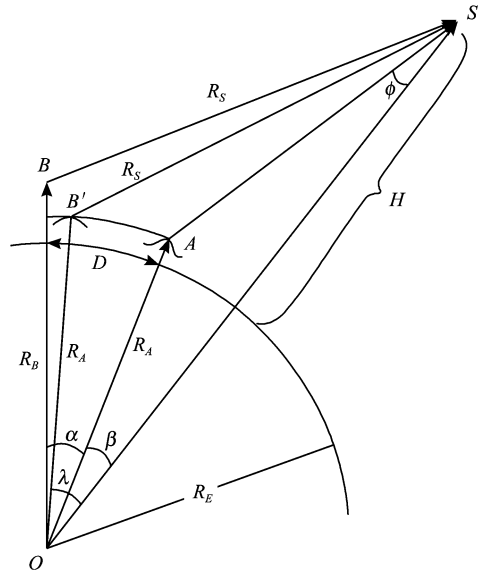


图 1 距离向两点 (A 和 B) 成像几何示意图

Fig 1 Geometry of two points (A and B) at range direction

$$R_S = [R_B^2 + (R_E + H)^2 - 2R_B(R_E + H)\cos(\alpha + \beta)]^{1/2} \quad (4)$$

图 1 中, B' 是点 B 在图像坐标平面的投影点,在三角形 SB'O 中,

$$\lambda = \arccos[(R_A^2 + (R_E + H)^2 - R_S^2) / (2R_A(R_E + H))] \quad (5)$$

至此,能求出 B 点在图像上的距离向坐标:

$$AB' = X' = R_A(\lambda - \beta) \quad (6)$$

如果点 B 与点 A 的方位向坐标不相同,也就是 AB 的连线与飞行方向不垂直。此时, D 的取值为点 B 到过点 A 且与飞行方向平行的一条直线的距离。这条直线的方程可表示为:

$$X \cos \Omega - Y \sin \Omega = 0 \quad (7)$$

其他参数的计算方法保持不变。

3 辐射模型的建立

地面目标物的后向散射与许多因素有关,如散射体的形状、表面粗糙度、介电常数,雷达波的入射角、方位角、波长,发射波与接收波的极化状态等。因此,为了应用方便,通常采取简化的模型来近似。本文中,假设面散射是由多个独立的小球形散射体构成的,并假定每个小球体的入射功率按照余弦定律下降,同时,基于朗伯定律,假定再辐射也是按照余弦定律下降。所以,模拟的雷达散射截面 (RCS) 值表示为:

$$\nu(\theta) = A_1 \cos^2 \theta \quad (8)$$

式中, A_1 是对应地表单元的表面积, θ 表示局部入射角。这两个参量的求法参照吴涛^[7]的方法。其中表面积的大小取决于地表单元在平面上的投影面积和表面坡度, 局部入射角取决于雷达波的入射角和分辨单元的法线方向。

3.1 计算表面积

如图 2 所示, DEM 中相邻的 4 个点的高程分别为 Z_1, Z_2, Z_3 和 Z_4 , X 轴表示方位向, Y 轴与距离向平行, Z 轴垂直于地面向上, 设 m 为 DEM 的分辨率。假定 1 点为三维坐标的原点 (这个假设并不改变点、线之间的角度和距离关系), 设这 4 个点所在的平面为:

$$Z = AX + BY + C \quad (9)$$

根据已知的 4 个点高程, 利用最小二乘法原理, 得到 (9) 式的系数为:

$$\begin{aligned} A &= (Z_2 - Z_1 + Z_3 - Z_4) / 2m \\ B &= (Z_4 - Z_1 + Z_3 - Z_2) / 2m \\ C &= (3Z_1 + Z_2 - Z_3 + Z_4) / 4 \end{aligned} \quad (10)$$

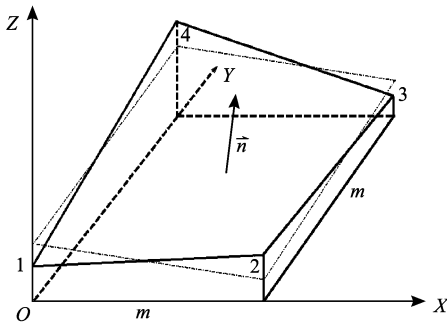


图 2 相邻 4 个点计算局部入射角和格网表面积
Fig 2 Local incidence and grid area calculated by the surrounding four points' coordinates

这样, 可求得拟合平面的法矢量 $\vec{n} = [A \ B \ -1]$ 。所以, 法矢量与 Z 轴夹角的余弦可以表示为:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + 1}} \quad (11)$$

根据投影定理, 表面积的表达为:

$$A_1 = m^2 \sqrt{A^2 + B^2 + 1} \quad (12)$$

3.2 计算局部入射角 θ

因为入射线在 ZOY 平面内, 故当入射角为 θ' 时, 入射矢量为

$$\vec{i} = [0, -\sin \theta', \cos \theta']$$

入射矢量与法矢量的交角为:

$$\theta = \arccos \left[\frac{|B \sin \theta' + \cos \theta'|}{\sqrt{A^2 + B^2 + 1}} \right] \quad (13)$$

4 模拟结果

利用以上的几何模型和辐射模型, 可模拟得到光滑的雷达正射投影图像。图 3 中显示的是某山区的 DEM 数据和相应的模拟结果 (入射角取 36° , 电磁波左入射)。如图 3 所示, 模拟的雷达图像能很好地体现前坡亮、后坡暗的特征; 同时, 图像也符合雷达图像直方图的左侧峰 (整体暗色调) 特性。

利用上述方法, 模拟华北地区的 HJ-1C 图像。为了使模拟图像更加逼真, 引入地物分类信息, 根据不同类别散射特性的差异, 共分成 6 类地物, 并对每类地物灰度值进行调整, 如表 1 所示。

表 1 根据地物分类的灰度调整值

Table 1 Gray value adjustment based on classification

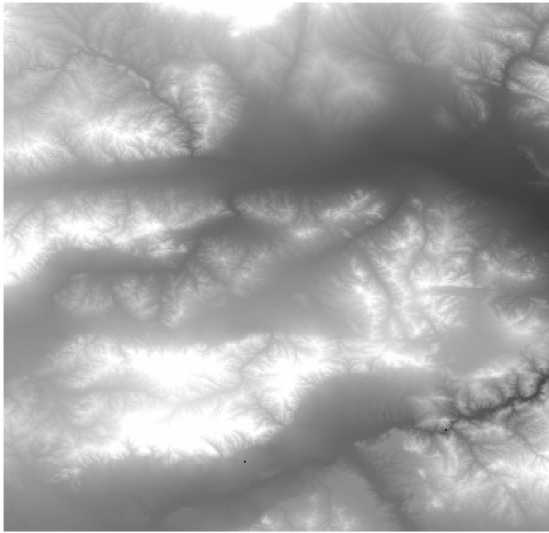
种类	调整值 / m^2	原因
水体	-50	镜面反射
森林	+20	地表面散射、树冠强体散射
建筑用地	+50	建筑物的二面角反射
冬小麦	+5	地表面散射、冠层弱体散射
荒漠	-5	较光滑的表面散射
休耕地	0	粗糙表面散射

如图 4 所示, 模拟的 SAR 图像能较好地反映地形的高低起伏; 典型地物的特征, 如水体、城市、山地等都能在图像上较好地反映出来。

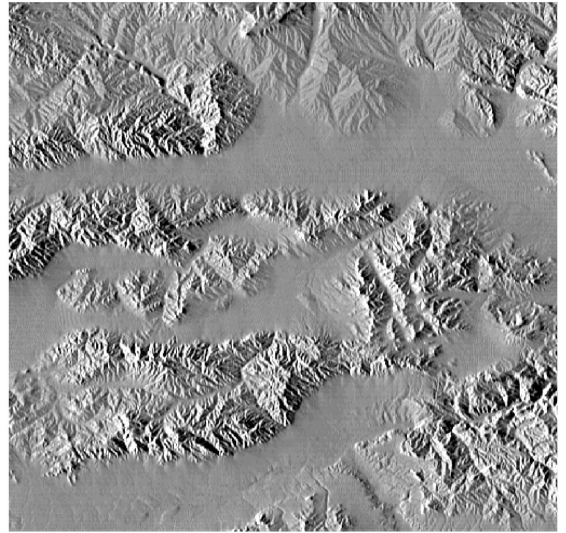
5 结 论

本文依据 B Guindon 等建立的正射投影几何模型和简单的余弦散射截面模型, 根据 HJ-1C 星的轨道参数和传感器系统参数, 模拟了 HJ-1C 上 S 波段 SAR 图像。模拟结果能较好地反映各种地物在 SAR 图像上的基本特征。

在辐射特性方面, 采用 (8) 式的余弦模型, 得到了 DEM 地表单元的雷达散射截面 (RCS), 又根据不同地物目标散射特性的差异, 对其 RCS 值进行调整, 得到了有物理意义的模拟雷达图像, 但是, 该图像还不能反映定量化的目标参数——后向散射系



(a)



(b)

图 3 DEM 和模拟结果

Fig 3 DEM and the corresponding simulated image

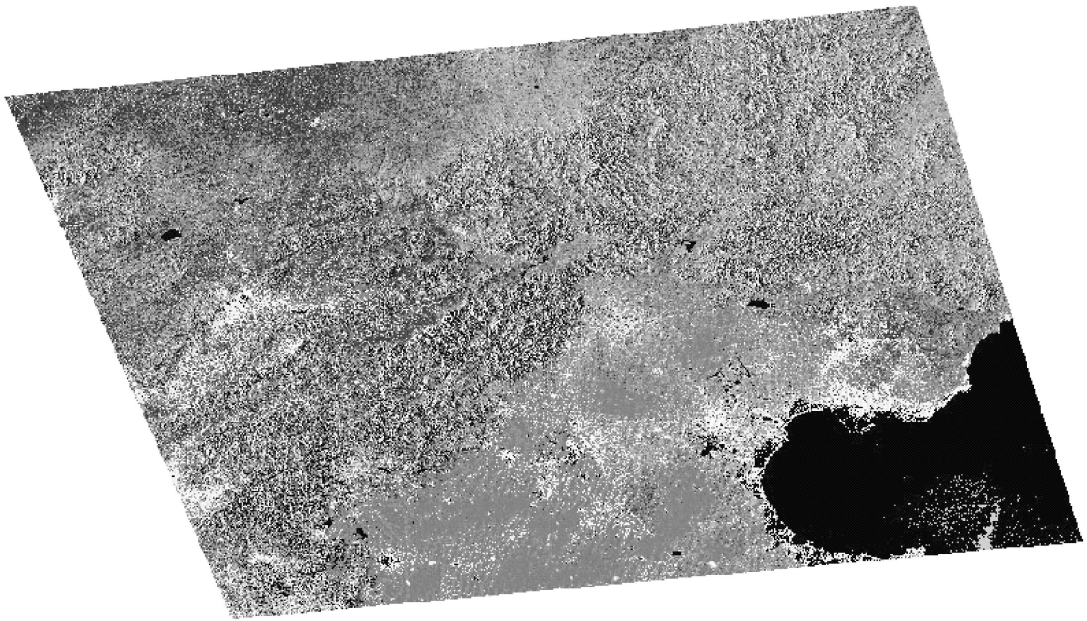


图 4 华北地区模拟结果

Fig 4 Simulated image of North China

数。下一步的工作将综合考虑表面参数,如土壤水分、地表粗糙度和植被覆盖程度,量化这些参数对雷达接收信号的影响,以改进模拟过程的后向散射模型,得到具有定量化物理意义的模拟图像。

参 考 文 献 (References)

[1] Klaus F. Loffeld O. A Concept for the Simulation of SAR Data [A]. Proc IEEE Geosci Remote Sensing Symp [C]. 1991;

2391- 2394.

[2] Wu T. Wang C. Zhang H. Study on Synthetic Aperture Radar Image Simulation— A Review [J]. Remote Sensing Information, 2005, (4): 59- 64. [吴涛,王超,张红. 雷达图像模拟研究综述 [J]. 遥感信息, 2005, (4): 59- 64.]

[3] You H J. Ding C B. Wu Y R. The Study of Spaceborne SAR Image Simulation Based on DEM and Its Application in Image Precise Correction [J]. Spacecraft Engineering, 2005, 14 (1): 27- 32 [尤红建,丁赤彪,吴一戎. 基于 DEM 的星载 SAR 图

像模拟并用于图像精校正的方法研究 [J]. 航天器工程, 2005, **14**(1): 27-32

- [4] Guindon B, Adair M. Analytic Formulation of Spaceborne SAR Image Geocoding and "Value-Added" Product Generation Procedure Using Digital Elevation Data [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1992, **18**: 2-11
- [5] Guindon B. Development of a SAR Data Acquisition Planning Tool(SARPLAN) Based on Image Simulation [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, **14**: 333-344
- [6] Guindon B. Performance Evaluation of Real-simulated Image Matching Techniques in the Acquisition of Ground Control for ERS-1 Image Geocoding [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry

and Remote Sensing, 1995, **50**: 2-11

- [7] Wu T. The Study of Spaceborne Synthetic Aperture Radar(SAR) Image Simulation [D]. Graduate University of Chinese Academy of Sciences M. S Dissertation, 2005. [吴涛. 星载合成孔径雷达图像模拟研究 [D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 2005.]
- [8] Ulabiy F T, Moore R K, Adrian K Fung. Microwave Remote Sensing Volume II, Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory [M]. Beijing: Science Press, 1987. [F. T. 乌拉比, R. K. 穆尔, 冯健超. 雷达遥感和面目标的散射、辐射理论——微波遥感第二卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.]