

星载 SCANSAR 模式的实现方法及计算机仿真

徐华平, 周荫清, 李春升

(北京航空航天大学电子工程系, 北京 100083)

摘要: 本文主要讨论星载 SCANSAR 模式的实现方法. 给出了在可变视角 Stripmap 星载 SAR 系统的基础上实现 SCANSAR 扩展模式的具体方法; 分析了 SCANSAR 信号参数的确定方法以及 SCANSAR 的几种性能参数; 给出了大距离徙动下 SCANSAR 的成像处理方法及模糊度和等效噪声 σ^0 的计算方法. 最后给出一个具有大距离徙动特性的星载 SAR 系统 SCANSAR 模式设计的例子, 并进行了计算机仿真.

关键词: 星载 SCANSAR; 模式; 实现方法; 仿真

中图分类号: TN959.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)12A-1860-03

Spaceborne SCANSAR Mode and Computer Simulating

XU Hua ping, ZHOU Yin qing, LI Chun sheng

(Dept. of Electronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper concentrates on the implementation of spaceborne SCANSAR mode which is developed in the stripmap spaceborne SAR system with variable look angle. SCANSAR signal parameters are determined and imaging algorithm for SCANSAR data with the large range migration is presented. Several SCANSAR performance parameters are analyzed and particular attention is given to ambiguity and noise equivalent σ^0 . With the requirement of spatial resolution, SCANSAR mode is designed in a large range migration spaceborne SAR system, the SCANSAR echo data is simulated and image is obtained.

Key words: spaceborne SCANSAR; mode; implementation; simulating

1 引言

星载 SAR 是高分辨率微波成像雷达, 它能够全天候、全天时工作. 自 1978 年第一颗星载 SAR 卫星上天以来, 星载 SAR 主要朝两个方向发展: 高空间分辨率和宽测绘带. 高空间分辨率的星载 SAR 图像为人们更清晰地分析地面目标提供了可能; 而宽测绘带的星载 SAR 则使得人们能够尽快获得变化较快的地面目标信息, 并且有利于实现重复观测. SCANSAR 模式是由 Moore 首次提出的一种 SAR 的扩展模式^[1,2], 它采用在距离向扫描的天线波束, 可以得到宽测绘带的雷达图像.

1994 年由美国 NASA 组织研制的星载成像雷达 (SIR-C) 采用 SCANSAR 技术作为实验模式. 通过这次实验得到的 SCANSAR 数据分析和处理结果为 1995 年加拿大 RADARSAT I 实现 SCANSAR 模式打下了良好的基础. RADARSAT I 是采用 SCANSAR 模式的第一个星载 SAR 系统, 由它得到的 SCANSAR 数据已经成功应用于海冰运动的监测和大面积对地观测等. 在研的星载 SAR 系统, 如 ESA 的 ASAR 和加拿大的 RADARSAT II 等, 也均能够实现 SCANSAR 扩展模式. 国内星载 SCANSAR 技术的研究已经进行了近十年, 取得了一定的成果, 但是目前还没有一个具有 SCANSAR 模式的 SAR 系统(机载或星载)成功运行.

2 星载 SCANSAR 原理

2.1 SCANSAR 基本原理^[3]

图 1 给出了星载 SCANSAR

工作的空间几何关系. 天线波束首先指向最近端的子测绘带并在那里停留足够长的时间, 然后波束再指向下一个子测绘带, 依此类推. 当卫星飞到最近端覆盖区的边缘时, 波束处于最远端的子测绘带处, 这时波束将再次指向最近端子测绘带紧靠上一次覆盖区的位置, 并且开始重复前面的过程.

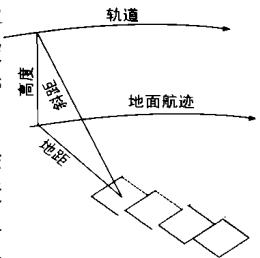


图 1 星载 SCANSAR 模式空间几何关系

2.2 SCANSAR 单视信号时序

根据 SCANSAR 的基本工作原理可以确定出其发射信号的基本结构. 图 2 给出了 SCANSAR 的一个信号周期. 其中, T 为信号周期, T_{di} 为波束在第 i 个子测绘带内的停留时间, T_c 为天线波束切换时间, N_B 为子测绘带数.

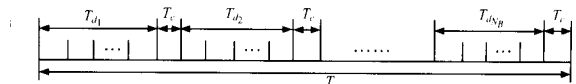


图 2 SCANSAR 的一个信号周期

3 星载 SCANSAR 的实现方法

星载 SCANSAR 的实现一般有两种方式: 一种是在可变视

角 Stripmap 星载 SAR 系统的基础上, 选择满足 SCANSAR 性能要求的信号时序参数和相互之间存在覆盖重叠的波位; 另一种则需要根据 SCANSAR 参数设计原理, 重新设计满足 SCANSAR 性能指标的系统参数和波位参数. 本文主要讨论第一种方法的具体实现.

3.1 星载 SCANSAR 信号时序主要参数确定

$$N_B \leq [(T_{syn}) / (T_d)] - 1 \quad (2)$$

3.1.2 波束切换时间 (T_c) T_c 的选择取决于电扫相控阵天线技术.

T_c 要足够短, 以保证波束能快速切换到任何给定的子测绘带而不发生覆盖中断.

3.1.3 波束在子测绘带内的停留时间 (T_d) 为了保证子测绘带内在方位向上相邻图像之间的衔接, 第 j 个子测绘带的波束停留时间 T_{dj} 必须满足

$$T_{syn} \geq T + T_{dj} \quad (3)$$

3.2 星载 SCANSAR 成像处理

SCANSAR 成像处理包括三个核心部分: 块数据成像、视加权处理和块图像之间的拼接算法. 图 3 给出了 SCANSAR 成像处理的流程. 3.2.1 数据成像处理 Stripmap 模式的 SAR 成像处理主要包括距离处理和方位处理两部分. 距离处理采用简单的匹配滤波器就可以实现; 由于距离徙动的存在, 方位处理比较复杂. SCANSAR 模式中每个波束位置回波数据的合成孔径时间减小了, 但是回波信号的多普勒带宽和距离向分辨率仍与 Stripmap 模式相同, 所以距离徙动量没有减小. 因此, 在大距离徙动情况下寻找合适的 SCANSAR 块数据处理算法仍是一个比较复杂的问题.

常用的 SCANSAR 块数据处理算法有: SPECAN、RD、Chirp Scaling 等. SPECAN 算法处理速度很快, 但它只适用于距离徙动较小的情况. SIR-C 的距离徙动量只有几个距离门, 所以可以采用 SPECAN 算法^[4]. Frank W. 提出一种修正的 RD 算法^[5], 能够实现相位保持和距离徙动校正, 但是在徙动量较大时, 它的运算量将大到不可容忍的程度.

本文采用 Chirp Scaling 算法^[6] 处理大距离徙动情况下的 SCANSAR 回波数据. 该算法能够在运算量不太大的情况下对距离徙动实现完全校正, 此特点使得该算法成为目前大距离徙动星载 SAR 高分辨率成像算法的最优选择.

3.2.2 视加权处理 在 SCANSAR 中, 方位向天线增益的不均匀性会引起图像增益的不均匀, 所以在成像处理时需要采用视加权来减少这种不均匀性. 常用的主要有单视加权和多视加权方法. 单视加权法简单直接, 容易实现, 但会使图像的辐射校正复杂化; 多视加权法的加权函数能够使得信号和噪声功率在方位向均为常数, 但是牺牲了图像的空间分辨率^[7]. 本文给出一种简单的单视加权方法是在单视成像处理中, 方位处理之前, 对回波信号在方位向乘以方位向天线增益的倒数来消除方位向的不均匀性.

3.1.1 子测绘带数 (N_B) 以满足测绘带宽度要求为主时, 子测绘带数的选择依赖于每个子测绘带宽度 BGW 及所要求的总测绘带宽 SW . 考虑到子测绘带之间的重叠, 近似有

$$N_B > (SW) / (BGW) \quad (1)$$

如果以满足空间分辨率要求为主, 则子测绘带数由波束停留时间 T_d 与合成孔径时间 T_{syn} 决定.

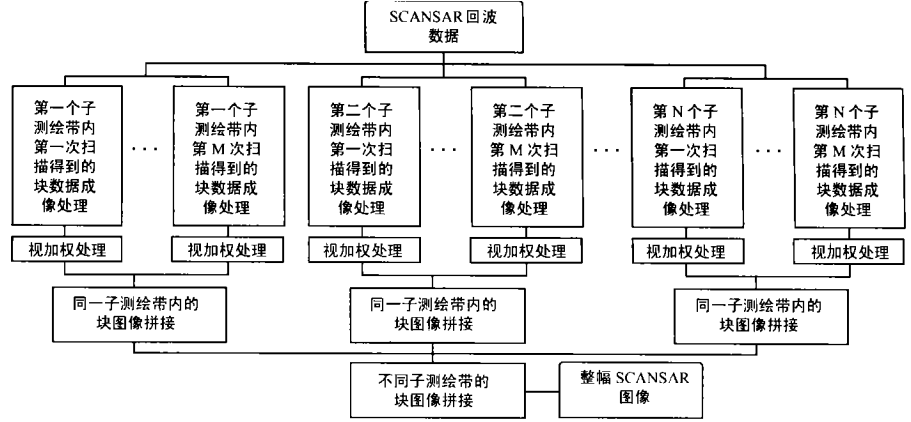


图 3 SCANSAR 成像处理流程

3.2.3 块图像拼接 块图像拼接的方法主要有两种: 一种是利用 SCANSAR 信号时序的时间参数, 结合成像处理算法计算出图像块与块之间的重复数据量, 舍去重叠部分完成拼接. 另一种则是对各块进行相关运算, 运用图形学的模板匹配原理完成匹配拼接. 后者需要进行二维相关运算, 计算量很大. 本文采用第一种拼接方法.

3.3 星载 SCANSAR 性能分析

(1) 测绘带宽度 星载 SCANSAR 测绘带宽度是去除重叠部分后所有子测绘带宽的总和. 子测绘带宽的计算公式与 Stripmap 模式相同.

(2) 分辨率 星载 SCANSAR 模式距离分辨率与 Stripmap 模式相同, 方位向分辨率 ρ_a 与 Stripmap 模式的方位分辨率 ρ_a^{strip} 之比为

$$\rho_a / \rho_a^{strip} \approx T_{syn} / T_d \geq N_B + 1 \quad (4)$$

(3) 模糊度 SCANSAR 距离和方位模糊度的计算要分别针对各子测绘带进行, 不同子测绘带的模糊度不相同. 在同一子测绘带内, SCANSAR 距离向模糊度的计算与 Stripmap 模式相同; 但是方位模糊度的计算还要在方位向分段进行, 各段内方位模糊度的计算同于 Stripmap 模式.

(4) 等效噪声 $\sigma^{[1]}$ 星载 SCANSAR 模式的图像等效噪声 σ^0 也是针对每个子测绘带计算的. 对于随机面目标地场景, SCANSAR 的等效噪声 σ^0 与 Stripmap 模式相同. 点目标的输出信噪比受成像处理增益的影响, 与 Stripmap 模式相比, SCANSAR 模式点目标的等效噪声 σ^0 将会变差.

4 一个 SCANSAR 的设计实例及计算机仿真

在空间分辨率为 $6m \times 6m$ 的高分辨率、大距离徙动情况下的可变视角星载 SAR 系统中实现 SCANSAR 模式, 要求其方位向分辨率不大于 $50m$.

4.1 参数确定

根据方位向分辨率不大于 50m 的要求,由式(4)知道子测绘带数最大可以取 7. 为了保证同一子测绘带相邻两次扫描之间有一定的重叠,同时使得整个测绘带宽最大,这里取 $N_B = 6$. 据此,选取星载 SAR 系统具有相互重叠的六个相邻波位,其波位参数见表 1.

表 1 SCANSAR 模式选取的六个相邻波位参数

波位号	近端入射角 $\theta_N(^{\circ})$	远端入射角 $\theta_F(^{\circ})$	脉冲重复频率 $F_{prf}(\text{Hz})$	波束停留时间 $T_{di}(\text{脉冲数})$
1	17.5	21.97	1900	571
2	21.54	25.81	1900	587
3	25.32	29.37	1800	572
4	28.84	32.68	2100	700
5	32.31	35.92	1900	644
6	34.09	37.58	1900	656

根据图 2 给出的星载 SCANSAR 信号时序关系可以求得 $T_c < 21.525\text{ms}$. 一般要求 T_c 越小越好,这里取 $T_c = 40\mu\text{s}$. 信号带宽和脉冲宽度的参数值与 Stripmap 模式相同.

4.2 回波仿真、成像处理及结果

不失一般性,本文选取表 1 给出的 SCANSAR 全测绘带内,位于前两个子测绘带宽交叠处的区域进行两个扫描周期的回波仿真和成像处理.

采用星地结合,利用卫星和地球空间几何关系并通过六个空间坐标系之间的转换以及 SCANSAR 波束扫描机理来完成地面目标回波仿真.地面目标的设置为点目标阵,仿真的距离徙动量为 400 多个距离门.成像处理过程如图 3 所示,采用 Chirp Scaling 块数据处理算法、单视视加权和时域块图像拼接方法.

图 4 给出了单视加权后四个波束扫描位置拼接后的总图像.图中的单视地距分辨率仍为 6m,方位向每个子测绘带的波束停留时间均为原合成孔径的八分之一多,所以单视方位分辨率的降低小于 48m,符合不大于 50m 的要求.

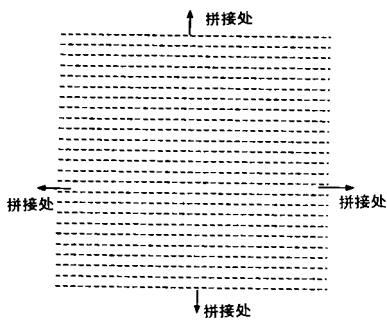


图 4 四个波束扫描位置的子图像块拼接得到的视加权后的总图像

表 2 SCANSAR 距离模糊度及等效噪声

波位号	1	2	3	4	5	6
距离向模糊度 (dB)	-39.302	-41.102	-42.609	-29.232	-28.695	-28.206
面目标等效噪声 σ^0 (dB)	-34.47	-33.74	-32.92	-32.04	-31.06	-30.51
点目标等效噪声 σ^0 (dB)	-16.43	-15.45	-14.36	-13.18	-11.87	-11.14

根据表 1 计算得到该 SCANSAR 模式的地面测绘带宽度

为 250km. SCANSAR 模式的方位模糊度随方位向变化,方位模糊度在波束指向中心处最大,且随着相对于波束中心偏移的增大而减小;距离模糊度以及点目标和面目标的等效噪声 σ^0 见表 2.

5 结论

根据本文的分析、讨论和仿真可以得到以下结论:(1)在可变视角的 Stripmap 星载 SAR 系统的基础上实现 SCANSAR 扩展模式时发射脉冲的信号参数可以与 Stripmap 模式相同,但必须根据 SCANSAR 模式的分辨率或测绘带宽要求确定子测绘带数、每个子测绘带内的波束停留时间以及波束切换时间等.(2) SPECAN 算法和 RD 算法均可以进行 SCANSAR 块数据处理,但仅适用于距离徙动量不大的情况. Chirp Scaling 算法能够作为大距离徙动量的 SCANSAR 块数据处理算法.(3)与 Stripmap 模式相比,SCANSAR 的距离向分辨率基本不变,方位向分辨率至少下降 $N_B + 1$ 倍;SCANSAR 各子测绘带的距离向模糊度与 Stripmap 模式的分析方法基本相同,而方位向模糊度是随方位向变化的;面目标 SCANSAR 的等效噪声 σ^0 与 Stripmap 模式基本相同,点目标的等效噪声 σ_0 在 SCANSAR 模式中变差.

参考文献:

- [1] Currie, A, et al. Wide swath SAR [J]. IEE Proceeding F, 1992, 139 (2): 122- 135.
- [2] Moore R K, Scanning spaceborne synthetic aperture radar with integrated radiometer [J]. IEEE Trans., 1981, GE 17(3): 410- 420.
- [3] Tomiyasu K Conceptual performance of a satellite borne, wide swath synthetic aperture radar [J]. IEEE Trans., 1981, GE 19(2): 108- 116.
- [4] Chang C Y, et al. First SIR-C scansar result [J]. IEEE Trans., 1996, GE 34(5): 1278- 1281.
- [5] Wong F, et al. Phase preserving processing of scansar data with a modified range doppler algorithm [J]. IEEE Trans., 1997, 725- 727.
- [6] Raney, R K, et al. Precision SAR processing using chirp scaling [J]. IEEE Trans., 1994, GE- 32(4): 786- 799.
- [7] Bamler R, Optimum look weighting for burst mode and SCANSAR processing [J]. IEEE Trans., 1995, GE- 33(3): 722- 725.

作者简介:



徐华平 女. 1977 年出生于陕西省渭南市. 在读博士研究生. 主要研究方向: 信息获取与处理, 高分辨率雷达成像, 星载干涉 SAR、SCANSAR 模式的实现方法等.

周荫清 男. 1936 年 4 月出生于湖南省湘潭市. 教授, 博士生导师, 中国电子学会会士. 主要研究方向: 信息获取与处理、高分辨率成像雷达和时变谱估计等.