



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102736073 B

(45) 授权公告日 2013.08.14

(21) 申请号 201210208826.8

(22) 申请日 2012.06.19

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 王鹏波 门志荣 陈杰 刘月珊
杨威

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所
11121

代理人 官汉增

(51) Int. Cl.

G01S 7/40(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102169173 A, 2011.08.31,
US 2011/0267223 A1, 2011.11.03,
EP 0749019 A1, 1996.12.18,
张永庆等. 一种基于数字波束形成的抑制星

载 SAR 距离模糊的方案. 《中国科学院研究生院学报》. 2011, 第 28 卷 (第 2 期),

刘军鹰等. 星载距离向多波束 SAR 的系统模糊特性. 《信息与电子工程》. 2012, 第 10 卷 (第 2 期),

Ian G. Cumming 等. Improved Slope Estimation for SAR Doppler Ambiguity Resolution. 《IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING》. 2006, 第 44 卷 (第 3 期),

审查员 陈树

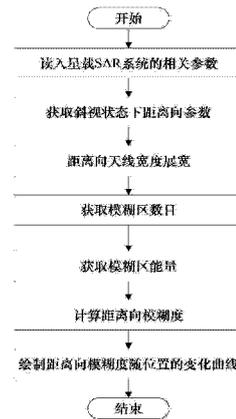
权利要求书4页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

一种通用模式下星载 SAR 距离向模糊度的计算方法

(57) 摘要

本发明提出一种通用模式下星载 SAR 距离向模糊度的计算方法,属于信号处理领域,包括读入星载 SAR 系统的相关参数、获取斜视状态下距离向参数、进行距离向天线宽度展宽、获取模糊区数目、获取模糊区能量、求取第 j 个位置的距离向模糊度和绘制距离向模糊度随距离向位置的变化曲线。本发明获取距离向天线方向图和卫星平台与目标点的斜距时,采用地球球体模型,和实际情况更加逼近,结果更加准确和可靠。本发明在获取距离向模糊度时,充分考虑了大扫描角情况下的空间几何特性,结果具有更高的可靠性。对于系统设计中扫描角的不同设计,本发明可得到不同的距离向模糊度的变化曲线,通过分析这些不同的变化曲线,可以对不同的扫描角进行比较和优化。



1. 一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度的获取方法,包括:

步骤一:读入星载 SAR 系统的相关参数,包括轨道高度 H , 天线距离向尺寸 L_r , 雷达工作波长 λ , 平均地球半径 R_e , 光速 c , 脉冲重复频率 PRF, 天线中心视角 θ_m , 起始扫描角 φ_1 , 终止扫描角 φ_r , 中间扫描角 φ_m , 距离向测绘带宽度 SW_r , 距离向选取位置数目 Fr ;

其特征在于还包括:

步骤二:获取斜视状态下距离向参数;

(1)建立坐标系;坐标原点为地球球心;Z轴方向为由地球球心指向卫星;Y轴方向为以地球球心为起点,方向与卫星速度方向平行;X轴方向为以地球球心为起点,垂直于卫星航迹方向,使该坐标系构成右手直角坐标系;

(2)、获取斜视状态下波束中心视角 θ_m' ;

$$\cos \theta_m' = \cos \theta_m \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_m \right) \quad (1)$$

其中 θ_m 为天线中心视角, φ_m 为中间扫描角;

(3)、获取斜视下测绘带中心点斜距 R_m ;

$$\frac{R_e + H}{\sin \beta_m'} = \frac{R_e}{\sin \theta_m'} \quad (2a)$$

$$\gamma_m' = \beta_m' - \theta_m' \quad (2b)$$

$$R_m = \sqrt{(R_e + H)^2 + R_e^2 - 2R_e \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_m'} \quad (2c)$$

其中, β_m' 和 γ_m' 为观测带中心点的入射角和地心角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角;

(4)、获取测绘带中心点 B 的坐标 (x, y, z) ;

$$y = R_m \cdot \cos \varphi_m \quad (3a)$$

$$z = R_e + H - R_m \cdot \cos \theta_m' \quad (3b)$$

$$x = \sqrt{R_e^2 - y^2 - z^2} \quad (3c)$$

其中, R_m 为斜视下测绘带中心点斜距, φ_m 为中间扫描角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角, x 、 y 和 z 分别为测绘带中心点 B 的 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标;

(5)、获取测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径 r 和距离向离轴角 α_B ;

$$r = \sqrt{R_e^2 - y^2} \quad (4a)$$

$$\sin \gamma_B = \frac{x}{r} \quad (4b)$$

$$\frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_B}}{\sin \gamma_B} = \frac{r}{\sin \alpha_B} \quad (4c)$$

其中, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, R_e 为平均地球半径, (x, y, z) 为测绘带中心点 B 的坐标, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

步骤三:进行距离向天线宽度展宽;

(1)、获取距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ;

$$\theta_{3dB} = \frac{0.886\lambda}{L_r} \quad (5)$$

其中 λ 为雷达工作波长, L_r 为天线距离向尺寸;

(2)、获取斜视下,距离向波束宽度 α_r ;

$$\gamma_1 = \frac{SW_r - r}{2r} \quad (6a)$$

$$R_{\max} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1) + y^2} \quad (6b)$$

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B + \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1)}} \quad (6c)$$

$$R_{\min} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1) + y^2} \quad (6d)$$

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B - \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1)}} \quad (6e)$$

$$\alpha_r = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \quad (6f)$$

其中, γ_1 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, R_{\max} 和 R_{\min} 分别为测绘带与卫星平台的最大斜距和最小斜距, α_{\max} 和 α_{\min} 分别为测绘带在小圆平面内对应的距离向最大离轴角和最小离轴角, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

(3)、比较距离向波束宽度 α_r 和距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} 的大小,判断是否需要展宽距离向天线宽度 L_r ,若距离向波束宽度 α_r 大于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ,则进行展宽,展宽后的距离向天线宽度记为 L_t ;

$$L_t = \frac{0.886\lambda}{\alpha_r + 0.001} \quad (7)$$

若距离向波束宽度 α_r 小于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ,则不进行展宽, $L_t = L_r$;

步骤四:获取模糊区数目 N_r ;

$$R_{\sigma\max} = \sqrt{(R_e + H)^2 - R_e^2} \quad (8a)$$

$$R_{\sigma\min} = \sqrt{y^2 + (R_e + H - r)^2} \quad (8b)$$

$$S_{\min} = \left\lceil \frac{2(R_{\min} - R_{\sigma\min})}{c} \cdot PRF \right\rceil \quad (8c)$$

$$S_{\max} = \left\lceil \frac{2(R_{\max} - R_{\sigma\max})}{c} \cdot PRF \right\rceil \quad (8d)$$

$$N_r = S_{\max} - S_{\min} \quad (8e)$$

其中, $R_{\sigma\max}$ 和 $R_{\sigma\min}$ 分别为模糊区最远斜距和最近斜距, S_{\max} 和 S_{\min} 分别为模糊区最大序

号和最小序号, $[x]$ 表示取不大于 x 的最大整数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, c 为光速, PRF 为脉冲重复频率, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

步骤五: 获取模糊区能量 E_a ;

(1)、在测绘带距离向上均匀选取 Fr 个位置; Fr 为距离向选取位置数目;

(2)、求取测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_j ;

$$\Delta\gamma = \frac{SW - r}{r \cdot Fr} \quad (9b)$$

$$R_j = \sqrt{(\sin(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma)^2 \cdot r^2 + y^2 + ((\cos(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma) \cdot r - (R_e + H))^2} \quad (9d)$$

其中, $\Delta\gamma$ 为圆心角步距, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, Fr 为距离向选取位置数目, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ_1 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

(3)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_{aj} 和离轴角 α_{ij} ;

$$R_{aj} = R_j + \frac{S_i \cdot c}{2 \cdot PRF} \quad (10a)$$

$$\cos \gamma_{ij} = \frac{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}{2r \cdot (R_e + H)} \quad (10b)$$

$$\frac{r}{\sin \alpha_{ij}} = \frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}}{\sin \gamma_{ij}} \quad (10c)$$

其中, γ_{ij} 为所对应的圆心角, S_i 为模糊区序号, PRF 为脉冲重复频率, c 为光速, R_j 为测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

(4)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置的距离向天线方向图 Wr_{ij} ;

$$Wr_{ij} = \frac{\sin^2(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)}{(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)^2} \quad (11)$$

其中 α_{ij} 为离轴角, λ 为雷达工作波长, L_t 为展宽后的距离向天线宽度, α_B 为距离向离轴角;

(5)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量 E_{ij} ;

$$\cos(\pi - \beta_{ij}') = \frac{R_{aj}^2 + R_e^2 - (R_e + H)^2}{2R_e \cdot R_{aj}} \quad (12a)$$

$$E_{ij} = \frac{Wr_{ij}^2 \cdot \sigma_0}{\sin \beta_{ij}' \cdot R_{aj}^3} \quad (12b)$$

其中, β_{ij}' 为入射角序列, σ_0 表示地面后向散射系数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, R_{aj} 表示第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距;

(6)、重复步骤(2)到(5),计算出所有位置返回的能量;

(7)、求取第 j 个位置返回的总能量 E_{allj} 和模糊区能量 Ea_j ;

$$E_{allj} = \sum_i E_{ij} \quad (13a)$$

$$Ea_j = E_{allj} - E_{(|S_{min}|+1)j} \quad (13b)$$

其中 S_{min} 为模糊区最小序号, E_{ij} 为第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量, $E_{(|S_{min}|+1)j}$ 为 $i = |S_{min}|+1$ 时第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量;

步骤六:求取第 j 个位置的距离向模糊度 $RASR_j$;

$$RASR_j = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Ea_j}{E_{(|S_{min}|+1)j}} \right) \quad (14)$$

其中 Ea_j 为模糊区能量, S_{min} 为模糊区最小序号;

步骤七:绘制距离向模糊度随距离向位置的变化曲线。

一种通用模式下星载 SAR 距离向模糊度的计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于信号处理领域,具体涉及一种通用模式下星载 SAR 距离向模糊度的计算方法。

背景技术

[0002] 合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)卫星近些年来发展迅速,由于 SAR 卫星不受天气、地理、时间等因素的限制,能够对地进行全天时的观测,且具有一定的穿透力,因而被广泛的应用于军事侦察、地形测绘、资源探测、海洋观测、生态监测、自然灾害监测、快速救援等方面。

[0003] 距离向模糊度是星载 SAR 中的一个重要指标,其直接反映了距离向副瓣信号对主瓣信号的干扰程度,在系统设计、波位选取时,距离模糊度是主要的考核指标之一。合成孔径雷达采用脉冲工作体制,其必然带来方位向和距离向的模糊问题。由于雷达作用距离远、运行速度快,合成孔径雷达的方位和距离模糊比较突出。

[0004] SAR 图像的模糊是来自测绘带外的回波信号对测绘带回波信号的干扰,造成图像质量下降,给 SAR 图像的应用造成困难。模糊问题也是 SAR 工程设计中要解决的一个重要问题,特别是在星载 SAR 设计中模糊问题更为重要。SAR 图像的模糊可分为距离向模糊和方位向模糊,方位向模糊是由于发射脉冲的脉冲重复频率 (PRF) 过低,回波信号的多普勒频谱欠采样引起的。而距离向模糊是由于雷达发射脉冲的重复频率过高引起的,主要是在测绘带内有用回波信号到达的同时,此脉冲之前或之后发射的脉冲也会有从距离合适的其他目标回来的回波信号到达,它们的能量混入目标回波信号中造成距离模糊,如图 1 所示为距离向模糊示意图。目前,传统的距离向模糊度的计算方法主要针对于正侧视情况,而大扫描角情况下的距离向模糊度计算的研究很少。因此,本发明提出了一种适用于大扫描角通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度的精细算法,利用本发明能够准确的反映出距离向模糊度随距离向位置变化的现象,实现距离向模糊度的优化。

发明内容

[0005] 本发明提出了一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度的计算方法,该方法以地球模型、卫星地距几何关系为基础,通过分析在大扫描角情况下的地球模型中模糊区与测绘带的位置关系,结合距离向天线方向图,得到模糊区信号能量和测绘带的信号能量,最后得出距离向模糊度的值。

[0006] 本发明提出了一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度的计算方法,具体包括以下几个步骤:

[0007] 步骤一:读入星载 SAR 系统的相关参数,包括轨道高度 H , 天线距离向尺寸 L_r , 雷达工作波长 λ , 平均地球半径 R_e , 光速 c , 脉冲重复频率 PRF, 天线中心视角 θ_m , 起始扫描角 φ_t , 终止扫描角 φ_r , 中间扫描角 φ_m , 距离向测绘带宽度 SW_r , 距离向选取位置数目 Fr 。

[0008] 步骤二:获取斜视状态下距离向参数 ; ;

[0009] (1) 建立坐标系, ;坐标原点为地球球心 ;Z 轴方向为由地球球心指向卫星 ;Y 轴方向为以地球球心为起点,方向与卫星速度方向平行 ;X 轴方向为以地球球心为起点,垂直于卫星航迹方向,使该坐标系构成右手直角坐标系 ;

[0010] (2)、获取斜视状态下波束中心视角 θ_m' ; ;

[0011]

$$\cos \theta_m' = \cos \theta_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_m\right) \quad (1)$$

[0012] 其中 θ_m 为天线中心视角, φ_m 为中间扫描角 ;

[0013] (3)、获取斜视下测绘带中心点斜距 R_m ;

$$\frac{R_e + H}{\sin \beta_m'} = \frac{R_e}{\sin \theta_m'} \quad (2a)$$

$$\gamma_m' = \beta_m' - \theta_m' \quad (2b)$$

$$R_m = \sqrt{(R_e + H)^2 + R_e^2 - 2R_e \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_m'} \quad (2c)$$

[0017] 其中, β_m' 和 γ_m' 为观测带中心点的入射角和地心角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角 ;

[0018] (4)、获取测绘带中心点 B 的坐标 (x, y, z) ;

[0019]

$$y = R_m \cdot \cos \varphi_m \quad (3a)$$

$$z = R_e + H - R_m \cdot \cos \theta_m' \quad (3b)$$

$$x = \sqrt{R_e^2 - y^2 - z^2} \quad (3c)$$

[0022] 其中, R_m 为斜视下测绘带中心点斜距, φ_m 为中间扫描角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角, x、y 和 z 分别为测绘带中心点 B 的 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标 ;

[0023] (5)、获取测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径 r 和距离向离轴角 α_B ;

$$r = \sqrt{R_e^2 - y^2} \quad (4a)$$

$$\sin \gamma_B = \frac{x}{r} \quad (4b)$$

$$\frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_B}}{\sin \gamma_B} = \frac{r}{\sin \alpha_B} \quad (4c)$$

[0027] 其中, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, R_e 为平均地球半径, (x, y, z) 为测绘带中心点 B 的坐标, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0028] 步骤三 :进行距离向天线宽度展宽 ;

[0029] (1)、获取距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ;

$$\theta_{3dB} = \frac{0.886\lambda}{L_r} \quad (5)$$

[0031] 其中 λ 为雷达工作波长, L_r 为天线距离向尺寸 ;

[0032] (2)、获取斜视下,距离向波束宽度 α_r ;

$$\gamma_1 = \frac{SW \cdot r}{2r} \quad (6a)$$

$$[0034] \quad R_{\max} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1)} + y^2 \quad (6b)$$

$$[0035] \quad \sin \alpha_{\max} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B + \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1)}} \quad (6c)$$

$$[0036] \quad R_{\min} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1)} + y^2 \quad (6d)$$

$$[0037] \quad \sin \alpha_{\min} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B - \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1)}} \quad (6e)$$

$$[0038] \quad \alpha_r = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \quad (6f)$$

[0039] 其中, γ_1 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, R_{\max} 和 R_{\min} 分别为测绘带与卫星平台的最大斜距和最小斜距, α_{\max} 和 α_{\min} 分别为测绘带在小圆平面内对应的距离向最大离轴角和最小离轴角, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

[0040] (3)、比较距离向波束宽度 α_r 和距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} 的大小, 判断是否需要展宽距离向天线宽度 L_r , 若距离向波束宽度 α_r 大于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} , 则进行展宽, 展宽后的距离向天线宽度记为 L_t :

$$[0041] \quad L_t = \frac{0.886\lambda}{\alpha_r + 0.001} \quad (7)$$

[0042] 若距离向波束宽度 α_r 小于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} , 则不进行展宽, $L_t = L_r$ 。

[0043] 步骤四: 获取模糊区数目 N_r ;

$$[0044] \quad R_{\alpha_{\max}} = \sqrt{(R_e + H)^2 - R_e^2} \quad (8a)$$

$$[0045] \quad R_{\alpha_{\min}} = \sqrt{y^2 + (R_e + H - r)^2} \quad (8b)$$

$$[0046] \quad S_{\min} = -\left[\frac{2(R_{\min} - R_{\alpha_{\min}})}{c} \cdot PRF \right] \quad (8c)$$

$$[0047] \quad S_{\max} = -\left[\frac{2(R_{\max} - R_{\alpha_{\max}})}{c} \cdot PRF \right] \quad (8d)$$

$$[0048] \quad N_r = S_{\max} - S_{\min} \quad (8e)$$

[0049] 其中, $R_{\alpha_{\max}}$ 和 $R_{\alpha_{\min}}$ 分别为模糊区最远斜距和最近斜距, S_{\max} 和 S_{\min} 分别为模糊区最大序号和最小序号, $[x]$ 表示取不大于 x 的最大整数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, c 为光速, PRF 为脉冲重复频率, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0050] 步骤五: 获取模糊区能量 E_a ;

[0051] (1)、在测绘带距离向上均匀选取 Fr 个位置; Fr 为距离向选取位置数目;

[0052] (2)、求取测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_j ;

$$[0053] \quad \Delta\gamma = \frac{SW_r - r}{r \cdot Fr} \quad (9b)$$

[0054]

$$R_j = \sqrt{(\sin(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma)^2 \cdot r^2 + y^2 + ((\cos(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma) \cdot r - (R_e + H))^2} \quad (9d)$$

[0055] 其中, $\Delta\gamma$ 为圆心角步距, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在

距离向的小圆半径, Fr 为距离向选取位置数目, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, c, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ₁ 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

[0056] (3)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_{aj} 和离轴角 α_{ij};

$$[0057] \quad R_{aj} = R_j + \frac{S_i \cdot c}{2 \cdot PRF} \quad (10a)$$

$$[0058] \quad \cos \gamma_{ij} = \frac{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}{2r \cdot (R_e + H)} \quad (10b)$$

$$[0059] \quad \frac{r}{\sin \alpha_{ij}} = \frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}}{\sin \gamma_{ij}} \quad (10c)$$

[0060] 其中, γ_{ij} 为所对应的圆心角, S_i 为模糊区序号, PRF 为脉冲重复频率, c 为光速, R_j 为测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标;

[0061] (4)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置的距离向天线方向图 W_{r_{ij}};

$$[0062] \quad W_{r_{ij}} = \frac{\sin^2(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)}{(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)^2} \quad (11)$$

[0063] 其中 α_{ij} 为离轴角, λ 为雷达工作波长, L_t 为展宽后的距离向天线宽度, α_B 为距离向离轴角;

[0064] (5)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量 E_{ij};

$$[0065] \quad \cos(\pi - \beta_{ij}') = \frac{R_{aj}^2 + R_e^2 - (R_e + H)^2}{2R_e \cdot R_{aj}} \quad (12a)$$

$$[0066] \quad E_{ij} = \frac{W_{r_{ij}}^2 \cdot \sigma_0}{\sin \beta_{ij}' \cdot R_{aj}^3} \quad (12b)$$

[0067] 其中, β_{ij}' 为入射角序列, σ₀ 表示地面后向散射系数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, R_{aj} 表示第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距;

[0068] (6)、重复步骤(2)到(5), 计算出所有位置返回的能量;

[0069] (7)、求取第 j 个位置返回的总能量 E_{allj} 和模糊区能量 Ea_j;

$$[0070] \quad E_{allj} = \sum_i E_{ij} \quad (13a)$$

$$[0071] \quad Ea_j = E_{allj} - E_{(|s_{min}|+1)j} \quad (13b)$$

[0072] 其中 s_{min} 为模糊区最小序号, E_{ij} 为第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量, E_{(|s_{min}|+1)j} 为 i = |s_{min}|+1 时第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量。

[0073] 步骤六: 求取第 j 个位置的距离向模糊度 RASR_j;

$$[0074] \quad RASR_j = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Ea_j}{E_{(|s_{min}|+1)j}} \right) \quad (14)$$

[0075] 其中 Ea_j 为模糊区能量, s_{min} 为模糊区最小序号。

[0076] 步骤七: 绘制距离向模糊度随距离向位置的变化曲线。

[0077] 本发明的优点在于:

[0078] (1) 本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法,该方法精确度高。本发明获取距离向天线方向图和卫星平台与目标点的斜距时,采用的是地球球体模型,和实际情况更加的逼近,因此结果更加准确和可靠。

[0079] (2) 本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法,该方法可靠性高。在进行系统设计的过程中,距离向模糊度的精确对于后续工作的展开和决策具有重要意义,本发明在获取距离向模糊度时,充分考虑了大扫描角情况下的空间几何特性,因此结果具有更高的可靠性。

[0080] (3) 本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法,该方法实用性强。对于系统设计中扫描角的不同设计,本发明可得到不同的距离向模糊度的变化曲线,通过分析这些不同的变化曲线,可以对不同的扫描角进行比较和优化。

[0081] (4) 本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法,该方法直观性好。通过本发明可得到距离向模糊度随距离向位置变化的曲线,因此可以很直观的反映距离向模糊度在整个场景内的变化情况,因此结果表现形式直观性强,便于系统设计者及决策者通过曲线做出正确的判断。

附图说明

[0082] 图 1 是本发明的距离向模糊示意图;

[0083] 图 2 是本发明提出的一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法的流程图;

[0084] 图 3 是本发明的计算斜视状态下,距离向参数计算的流程图;

[0085] 图 4 是本发明的正侧视到斜视的转换示意图;

[0086] 图 5 是本发明斜视状态下,波束中心视角示意图;

[0087] 图 6 是本发明的斜视状态下,垂直于卫星航迹方向的几何关系示意图;

[0088] 图 7 是本发明的计算斜视状态下,距离向天线宽度展宽的流程图;

[0089] 图 8 是本发明斜视状态下,测绘带中心点 B 所在小圆的剖面图;

[0090] 图 9 是本发明的计算模糊区能量的流程图;

[0091] 图 10 是本发明的仿真数据绘制所得距离向模糊度的曲线;

具体实施方式

[0092] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0093] 本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法,如图 2 所示,包括以下几个步骤:

[0094] 步骤一:读入星载 SAR 系统的相关参数,包括:轨道高度 H , 天线距离向尺寸 L_r , 雷达工作波长 λ , 平均地球半径 R_e , 光速 c , 脉冲重复频率 PRF, 天线中心视角 θ_m , 起始扫描角 φ_1 , 终止扫描角 φ_2 , 中间扫描角 φ_m , 距离向测绘带宽度 SW_r , 距离向选取位置数目 Fr 。

[0095] 步骤二:获取斜视状态下距离向参数,如图 3 所示;

[0096] (1) 建立坐标系,如图 4 所示,坐标原点为地球球心;Z 轴方向为由地球球心指向卫星;Y 轴方向为以地球球心为起点,方向与卫星速度方向平行;X 轴方向为以地球球心为起点,垂直于卫星航迹方向,使该坐标系构成右手直角坐标系。

[0097] (2)、获取斜视状态下波束中心视角 θ_m' ,如图 5 所示 ;

[0098]

$$\cos \theta_m' = \cos \theta_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_m\right) \quad (1)$$

[0099] 其中 θ_m 为天线中心视角, φ_m 为中间扫描角。

[0100] (3)、获取斜视下测绘带中心点斜距 R_m ,如图 6 所示 ;

$$\frac{R_e + H}{\sin \beta_m'} = \frac{R_e}{\sin \theta_m'} \quad (2a)$$

$$\gamma_m' = \beta_m' - \theta_m' \quad (2b)$$

$$R_m = \sqrt{(R_e + H)^2 + R_e^2 - 2R_e \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_m'} \quad (2c)$$

[0104] 其中, β_m' 和 γ_m' 为观测带中心点的入射角和地心角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角。

[0105] (4)、获取测绘带中心点 B 的坐标 (x, y, z) ,如图 4 所示 ;

[0106]

$$y = R_m \cdot \cos \varphi_m \quad (3a)$$

$$z = R_e + H - R_m \cdot \cos \theta_m' \quad (3b)$$

$$x = \sqrt{R_e^2 - y^2 - z^2} \quad (3c)$$

[0109] 其中, R_m 为斜视下测绘带中心点斜距, φ_m 为中间扫描角, H 为轨道高度, R_e 为平均地球半径, θ_m' 为斜视状态下波束中心视角, x 、 y 和 z 分别为测绘带中心点 B 的 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标。

[0110] (5)、获取测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径 r 和距离向离轴角 α_B ,如图 4 所示 ;

$$r = \sqrt{R_e^2 - y^2} \quad (4a)$$

$$\sin \gamma_B = \frac{x}{r} \quad (4b)$$

$$\frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_B}}{\sin \gamma_B} = \frac{r}{\sin \alpha_B} \quad (4c)$$

[0114] 其中, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, R_e 为平均地球半径, (x, y, z) 为测绘带中心点 B 的坐标, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0115] 步骤三 :进行距离向天线宽度展宽,如图 7 所示 ;

[0116] (1)、获取距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ;

$$\theta_{3dB} = \frac{0.886\lambda}{L_r} \quad (5)$$

[0118] 其中 λ 为雷达工作波长, L_r 为天线距离向尺寸。

[0119] (2)、获取斜视下,距离向波束宽度 α_r ,如图 8 所示 ;

$$\gamma_1 = \frac{SW \cdot r}{2r} \quad (6a)$$

$$R_{\max} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1) + y^2} \quad (6b)$$

$$[0122] \quad \sin \alpha_{\max} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B + \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1)}} \quad (6c)$$

$$[0123] \quad R_{\min} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1) + y^2} \quad (6d)$$

$$[0124] \quad \sin \alpha_{\min} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B + \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1)}} \quad (6e)$$

$$[0125] \quad \alpha_r = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \quad (6f)$$

[0126] 其中, γ_1 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, R_{\max} 和 R_{\min} 分别为测绘带与卫星平台的最大斜距和最小斜距, α_{\max} 和 α_{\min} 分别为测绘带在小圆平面内对应的距离向最大离轴角和最小离轴角, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0127] (3)、比较距离向波束宽度 α_r 和距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} 的大小, 判断是否需要展宽距离向天线宽度 L_r 。若距离向波束宽度 α_r 大于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} , 则进行展宽, 展宽后的距离向天线宽度记为 L_t :

$$[0128] \quad L_t = \frac{0.886\lambda}{\alpha_r + 0.001} \quad (7)$$

[0129] 若距离向波束宽度 α_r 小于距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} , 则不进行展宽, $L_t = L_r$ 。

[0130] 步骤四: 获取模糊区数目 N_r ;

$$[0131] \quad R_{a\max} = \sqrt{(R_e + H)^2 - R_e^2} \quad (8a)$$

$$[0132] \quad R_{a\min} = \sqrt{y^2 + (R_e + H - r)^2} \quad (8b)$$

$$[0133] \quad S_{\min} = -\left[\frac{2(R_{a\min} - R_{a\max})}{c} \cdot PRF \right] \quad (8c)$$

$$[0134] \quad S_{\max} = -\left[\frac{2(R_{a\max} - R_{a\min})}{c} \cdot PRF \right] \quad (8d)$$

$$[0135] \quad N_r = S_{\max} - S_{\min} \quad (8e)$$

[0136] 其中, $R_{a\max}$ 和 $R_{a\min}$ 分别为模糊区最远斜距和最近斜距, S_{\max} 和 S_{\min} 分别为模糊区最大序号和最小序号, $[x]$ 表示取不大于 x 的最大整数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, c 为光速, PRF 为脉冲重复频率, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0137] 步骤五: 获取模糊区能量 E_a , 如图 9 所示 ;

[0138] (1)、在测绘带距离向上均匀选取 Fr 个位置 ; Fr 为距离向选取位置数目。

[0139] (2)、求取测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_j ;

$$[0140] \quad \Delta\gamma = \frac{SW_r - r}{r \cdot Fr} \quad (9b)$$

[0141]

$$R_j = \sqrt{(\sin(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma)^2 \cdot r^2 + y^2 + ((\cos(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma) \cdot r - (R_e + H))^2} \quad (9d)$$

[0142] 其中, $\Delta\gamma$ 为圆心角步距, SW_r 为距离向测绘带宽度, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, Fr 为距离向选取位置数目, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆

半径, c , R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, γ_1 为半测绘带宽度在小圆内对应的圆心角, γ_B 为测绘带中心点 B 点所在小圆的圆心角, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0143] (3)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_{aj} 和离轴角 α_{ij} ;

$$[0144] \quad R_{aj} = R_j + \frac{S_i \cdot c}{2 \cdot PRF} \quad (10a)$$

$$[0145] \quad \cos \gamma_{ij} = \frac{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}{2r \cdot (R_e + H)} \quad (10b)$$

$$[0146] \quad \frac{r}{\sin \alpha_{ij}} = \frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{aj}^2}}{\sin \gamma_{ij}} \quad (10c)$$

[0147] 其中, γ_{ij} 为所对应的圆心角, S_i 为模糊区序号, PRF 为脉冲重复频率, c 为光速, R_j 为测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距, r 为测绘带中心点 B 点所在距离向的小圆半径, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, y 为测绘带中心点 B 的 Y 轴坐标。

[0148] (4)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置的距离向天线方向图 Wr_{ij} ;

$$[0149] \quad Wr_{ij} = \frac{\sin^2(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)}{(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)^2} \quad (11)$$

[0150] 其中 α_{ij} 为离轴角, λ 为雷达工作波长, L_t 为展宽后的距离向天线宽度, α_B 为距离向离轴角

[0151] (5)、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量 E_{ij} ;

$$[0152] \quad \cos(\pi - \beta'_{ij}) = \frac{R_{aj}^2 + R_e^2 - (R_e + H)^2}{2R_e \cdot R_{aj}} \quad (12a)$$

$$[0153] \quad E_{ij} = \frac{Wr_{ij}^2 \cdot \sigma_0}{\sin \beta'_{ij} \cdot R_{aj}^3} \quad (12b)$$

[0154] 其中, β'_{ij} 为入射角序列, σ_0 表示地面后向散射系数, R_e 为平均地球半径, H 为轨道高度, R_{aj} 表示第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距。

[0155] (6)、重复步骤(2)到(5), 计算出所有位置返回的能量。

[0156] (7)、求取第 j 个位置返回的总能量 E_{allj} 和模糊区能量 Ea_j ;

$$[0157] \quad E_{allj} = \sum_i E_{ij} \quad (13a)$$

$$[0158] \quad Ea_j = E_{allj} - E_{(|s_{min}|+1)j} \quad (13b)$$

[0159] 其中 s_{min} 为模糊区最小序号, E_{ij} 为第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量, $E_{(|s_{min}|+1)j}$ 为 $i = |s_{min}| + 1$ 时第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量。

[0160] 步骤六: 求取第 j 个位置的距离向模糊度 $RASR_j$;

$$[0161] \quad RASR_j = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Ea_j}{E_{(|s_{min}|+1)j}} \right) \quad (14)$$

[0162] 其中 Ea_j 为模糊区能量, s_{min} 为模糊区最小序号。

[0163] 步骤七: 绘制距离向模糊度随距离向位置的变化曲线。

[0164] 实施例

[0165] 本实施例提供一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法, 包括以下几个

步骤,流程图,如图 2 所示:

[0166] 步骤一:读入星载 SAR 系统的相关参数,包括:轨道高度 H ,距离向天线宽度 L_r ,雷达工作波长 λ ,平均地球半径 R_e ,光速 c ,脉冲重复频率 PRF,天线中心视角 θ_m ,起始扫描角 φ_l ,终止扫描角 φ_r ,中间扫描角 φ_m ,距离向测绘带宽度 SW_r ,距离向选取位置数目 Fr ;

[0167] 其中,本实施例中具体参数为: $H = 800\text{km}$, $L_r = 2\text{m}$, $\lambda = 0.03\text{m}$, $R_e = 6371140\text{m}$, $c = 3 \times 10^8\text{m/s}$, $\text{PRF} = 2000\text{Hz}$, $\theta_m = 30^\circ$, $\varphi_l = 74.83^\circ$, $\varphi_r = 83.70^\circ$, $\varphi_m = 79.26^\circ$, $SW_r = 15000\text{m}$, $Fr = 1001$;

[0168] 步骤二:获取斜视状态下距离向参数,流程图如图 3 所示;

[0169] A、建立坐标系,如图 4 所示;

[0170] 坐标原点:地球球心

[0171] Z 轴:由地球球心指向卫星

[0172] Y 轴:以地球球心为起点,方向与卫星速度方向平行

[0173] X 轴:以地球球心为起点,垂直于卫星航迹方向,使该坐标系构成右手直角坐标系

[0174] B、获取斜视状态下波束中心视角 θ_m' ,如图 5 所示;

[0175] 方法如公式 (1) 所示:

[0176]

$$\cos \theta_m' = \cos \theta_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_m\right) \quad (1)$$

[0177] 其中,本实施例中具体参数为: $\theta_m = 30^\circ$, $\varphi_m = 79.26^\circ$,得到 $\theta_m' = 31.6942^\circ$ 。

[0178] C、获取斜视下测绘带中心点斜距 R_m ,如图 6 所示;

[0179] 方法如公式 (2a~2c) 所示:

$$\frac{R_e + H}{\sin \beta_m'} = \frac{R_e}{\sin \theta_m'} \quad (2a)$$

$$\gamma_m' = \beta_m' - \theta_m' \quad (2b)$$

$$R_m = \sqrt{(R_e + H)^2 + R_e^2 - 2R_e \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_m'} \quad (2c)$$

[0183] 其中,本实施例中的具体参数为: $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, θ_m' 按公式 (1) 获得,得到 $R_m = 963.91\text{km}$ 。

[0184] D、获取测绘带中心点 B 的坐标 (X, Y, Z) ,如图 4 所示;

[0185] 方法如公式 (3a~3c) 所示:

[0186]

$$y = R_m \cdot \cos \varphi_m \quad (3a)$$

$$z = R_e + H - R_m \cdot \cos \theta_m' \quad (3b)$$

$$x = \sqrt{R_e^2 - y^2 - z^2} \quad (3c)$$

[0189] 其中,本实施例中的具体参数为: $\varphi_m = 79.26^\circ$, $R_e = 6371140\text{m}$, θ_m' 按公式 (1) 获得, R_m 按公式 (2a~2c) 获得,得到 $Y = 179.58\text{km}$, $Z = 6351\text{km}$, $X = 473.52\text{km}$ 。

[0190] E、获取 B 点所在距离向的小圆半径 r 和距离向离轴角 α_B ,如图 4 所示;

[0191] 方法如公式 (4a~4c) 所示:

$$r = \sqrt{R_e^2 - y^2} \quad (4a)$$

$$[0193] \quad \sin \gamma_B = \frac{x}{r} \quad (4b)$$

$$[0194] \quad \frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos \gamma_B}}{\sin \gamma_B} = \frac{r}{\sin \alpha_B} \quad (4c)$$

[0195] 其中,本实施例中的具体参数为: $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, X、Y 按公式 (3a~3c) 获得,得到 $r = 6368.6\text{km}$, $\alpha_B = 30^\circ$ 。

[0196] 步骤三:距离向天线宽度展宽,流程图如图 7 所示。

[0197] A、获取距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} ;

[0198] 方法如公式 (5) 所示:

$$[0199] \quad \theta_{3dB} = \frac{0.886\lambda}{L_r} \quad (5)$$

[0200] 其中,本实施例中的具体参数为: $L_r = 2\text{m}$, $\lambda = 0.03\text{m}$, 得到 $\theta_{3dB} = 0.0133\text{rad}$ 。

[0201] B、获取斜视下,距离向波束宽度 α_r ,如图 8 所示;

[0202] 方法如公式 (6a~6f) 所示:

$$[0203] \quad \gamma_1 = \frac{SW_r}{2r} \quad (6a)$$

$$[0204] \quad R_{\max} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1) + y^2} \quad (6b)$$

$$[0205] \quad \sin \alpha_{\max} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B + \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B + \gamma_1) + y^2}} \quad (6c)$$

$$[0206] \quad R_{\min} = \sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1) + y^2} \quad (6d)$$

$$[0207] \quad \sin \alpha_{\min} = \frac{r \cdot \sin(\gamma_B - \gamma_1)}{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 - 2r \cdot (R_e + H) \cdot \cos(\gamma_B - \gamma_1) + y^2}} \quad (6e)$$

$$[0208] \quad \alpha_r = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \quad (6f)$$

[0209] 其中,本实施例中的具体参数为: $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, $SW_r = 15000\text{m}$, r 按公式 (4a) 获得, γ_B 按公式 (4b) 获得,得到 $\alpha_r = 0.0131\text{rad}$ 。

[0210] C、比较距离向波束宽度 α_r 和距离向 3dB 波束宽度 θ_{3dB} 的大小,判断是否需要展宽距离向天线宽度 L_r 。若 α_r 大于 θ_{3dB} ,则进行展宽,展宽后的距离向天线宽度记为 L_t ;

[0211] 方法如公式 (7) 所示:

$$[0212] \quad L_t = \frac{0.886\lambda}{\alpha_r + 0.00105} \quad (7)$$

[0213] 其中,本实施例中的具体参数为: $\lambda = 0.03\text{m}$, θ_{3dB} 按公式 (5) 获得, α_r 按公式 (6a~6f) 获得,得到 $L_t = 1.8798$ 。

[0214] 步骤四:获取模糊区数目 N_r ;

[0215] 方法如公式 (8a~8e) 所示:

$$[0216] \quad R_{\alpha_{\max}} = \sqrt{(R_e + H)^2 - R_e^2} \quad (8a)$$

$$[0217] \quad R_{\alpha_{\min}} = \sqrt{y^2 + (R_e + H - r)^2} \quad (8b)$$

$$[0218] \quad S_{\min} = \left\lceil \frac{2(R_{\min} - R_{\alpha_{\min}})}{c} \cdot PRF \right\rceil \quad (8c)$$

$$[0219] \quad S_{\max} = -\left[\frac{2(R_{\max} - R_{\sigma\max})}{c} \cdot PRF\right] \quad (8d)$$

$$[0220] \quad N_r = S_{\max} - S_{\min} \quad (8e)$$

[0221] 其中,本实施例中的具体参数为: $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, $PRF = 2000\text{Hz}$, Y 按公式 (3a) 获得, R_{\max} 按公式 (6b) 获得, R_{\min} 按公式 (6d) 获得, 得到 $N_r = 26$ 。

[0222] 步骤五: 获取模糊区能量 E_a , 流程图如图 9 所示;

[0223] A、给出以下表示, 在测绘带距离向上均匀选取 Fr 个位置;

[0224] B、求取测绘带距离向上第 j 个位置与卫星平台的斜距 R_j ;

[0225] 方法如公式 (9a~9b) 所示:

$$[0226] \quad \Delta\gamma = \frac{SW_r}{r \cdot Fr} \quad (9b)$$

[0227]

$$R_j = \sqrt{(\sin(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma)^2 \cdot r^2 + y^2 + ((\cos(\gamma_B - \gamma_1) + j \cdot \Delta\gamma) \cdot r - (R_e + H))^2} \quad (9d)$$

[0228] 其中,本实施例中的具体参数为: $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, $SW_r = 15000\text{m}$, $Fr = 1001$, r 按公式 (4a) 获得, Y 按公式 (3a) 获得, γ_B 按公式 (4b) 获得, γ_1 按公式 (6a) 获得, 根据 j 的不同取值得到 R_j 。

[0229] C、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置与卫星平台的斜距 $R_{a_{ij}}$ 和离轴角 α_{ij} ;

[0230] 方法如公式 (10a~10c) 所示:

$$[0231] \quad Ra_{ij} = R_j + \frac{S_i \cdot c}{2PRF} \quad (10a)$$

$$[0232] \quad \cos \gamma_{ij} = \frac{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{a_{ij}}^2}{2r \cdot (R_e + H)} \quad (10b)$$

$$[0233] \quad \frac{r}{\sin \alpha_{ij}} = \frac{\sqrt{r^2 + (R_e + H)^2 + y^2 - R_{a_{ij}}^2}}{\sin \gamma_{ij}} \quad (10c)$$

[0234] 其中,本实施例中的具体参数为: $c = 3 \times 10^8\text{m/s}$, $R_e = 6371140\text{m}$, $H = 800\text{km}$, $PRF = 2000\text{Hz}$, r 按公式 (4a) 获得, Y 按公式 (3a) 获得, R_j 按公式 (9d) 获得, 根据 j 和 S_i 的不同取值得到 $R_{a_{ij}}$ 和 α_{ij} 。

[0235] D、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置的距离向天线方向图 Wr_{ij} ;

[0236] 方法如公式 (11a~11b) 所示:

$$[0237] \quad Wr_{ij} = \frac{\sin^2(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)}{(\pi \cdot L_t \cdot (\sin \alpha_{ij} - \sin \alpha_B) / \lambda)^2} \quad (11)$$

[0238] 其中,本实施例中的具体参数为: $\lambda = 0.03\text{m}$, α_B 按公式 (4a~4c) 获得, α_{ij} 按公式 (10a~10c) 获得, L_t 按公式 (7) 获得, 根据 j 和 S_i 的不同取值得到 Wr_{ij} 。

[0239] E、求取第 S_i 模糊区里第 j 个位置返回的能量 E_{ij} ;

[0240] 方法如公式 (12a~12b) 所示:

$$[0241] \quad \cos(\pi - \beta_{ij}) = \frac{R_{a_{ij}}^2 + R_e^2 - (R_e + H)^2}{2R_e \cdot R_{a_{ij}}} \quad (12a)$$

$$[0242] \quad E_{ij} = \frac{Wr_{ij}^2 \cdot \sigma_0}{\sin \beta_{ij}' \cdot R_{aj}^3} \quad (12b)$$

[0243] 其中,本实施例中的具体参数为: $\sigma_0 = 1$, $R_e = 6371140m$, $H = 800km$, Ra_{ij} 按公式 (10a) 获得, Wr_{ij} 按公式 (11a~11b) 获得,根据 j 和 S_i 的不同取值得到 E_{ij} 。

[0244] F、重复步骤 B 到 E,计算出所有位置返回的能量。

[0245] G、求取第 j 个位置返回的总能量 E_{allj} 和模糊区能量 Ea_j ;

[0246] 方法如公式 (13a ~ 13b) 所示 :

$$[0247] \quad E_{allj} = \sum_i E_{ij} \quad (13a)$$

$$[0248] \quad E_{aj} = E_{allj} - E_{(|S_{min}|+1)j} \quad (13b)$$

[0249] 其中,本实施例中的具体参数为: E_{ij} 按公式 (12a ~ 12b) 获得,根据 j 的不同取值得到 E_{allj} 和 Ea_j 。

[0250] 步骤六:求取第 j 个位置的距离向模糊度 $RASR_j$;

[0251] 方法如公式 (14) 所示 :

$$[0252] \quad RASR_j = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Ea_j}{E_{(|S_{min}|+1)j}} \right) \quad (14)$$

[0253] 其中,本实施例中的具体参数为: E_{ij} 按公式 (12a ~ 12b) 获得, Ea_j 按公式 (13~13) 获得,根据 j 的不同取值得到 $RASR_j$ 。

[0254] 步骤七:绘制距离向模糊度随距离向位置的变化曲线。

[0255] 采用本发明提出一种通用星载 SAR 模式下的距离向模糊度计算方法进行计算,得出的本实施例的仿真数据,对仿真数据进行绘制得到距离向模糊度的曲线,如图 10 所示,该曲线直观反映距离向模糊度在整个场景内的变化情况,结果表现形式直观性强,便于系统设计者及决策者通过曲线做出正确的判断。

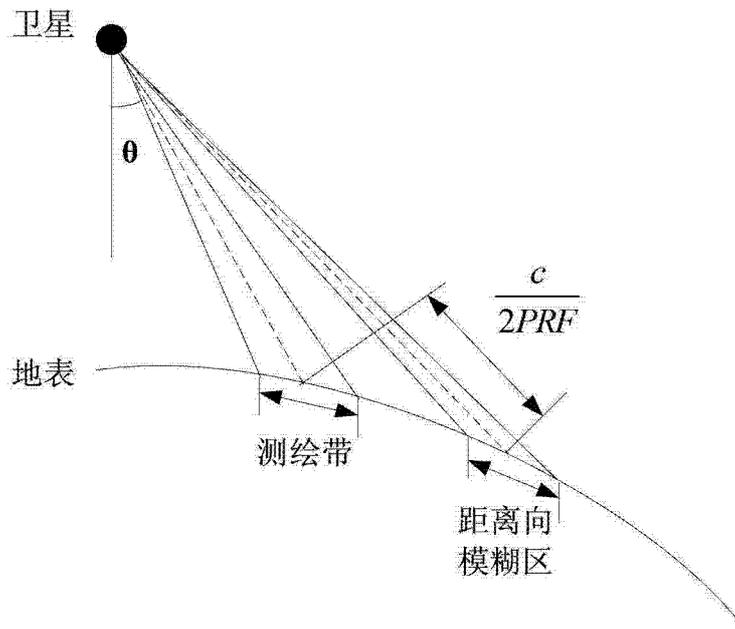


图 1

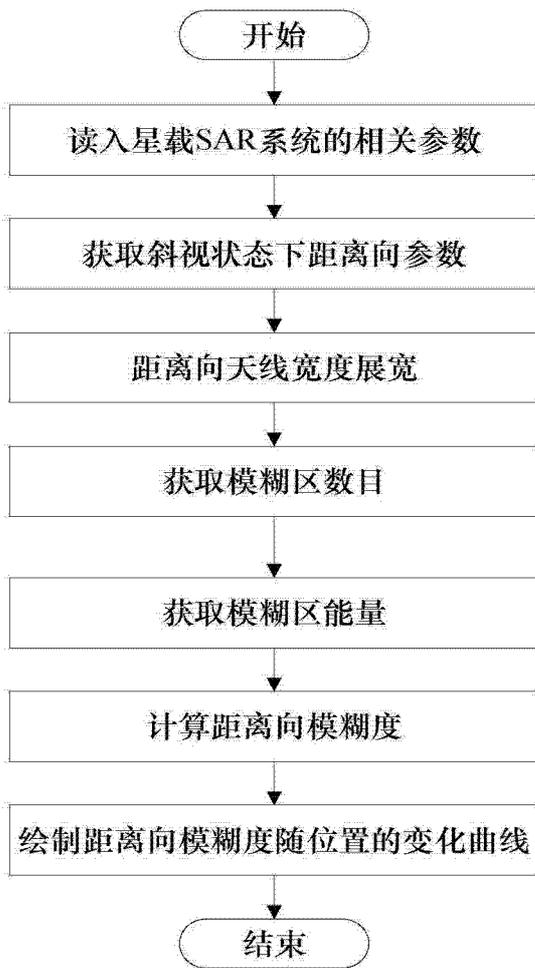


图 2

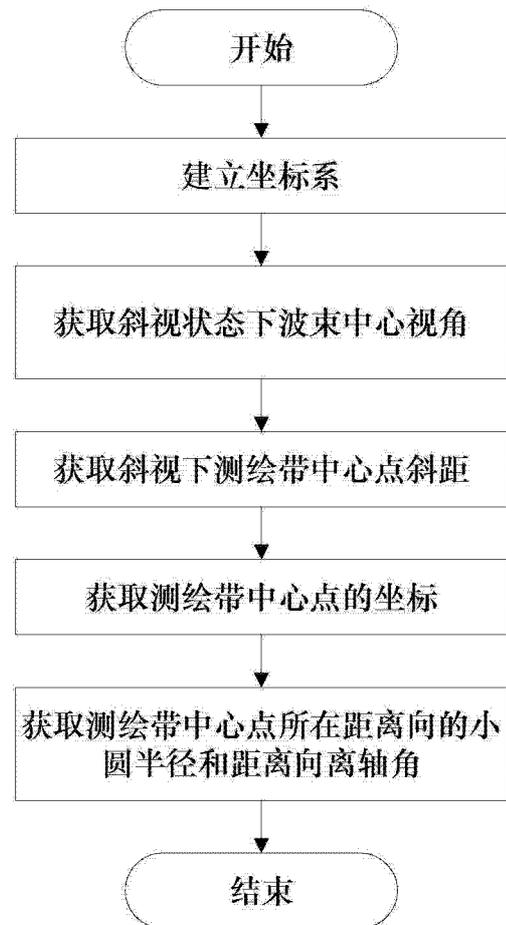


图 3

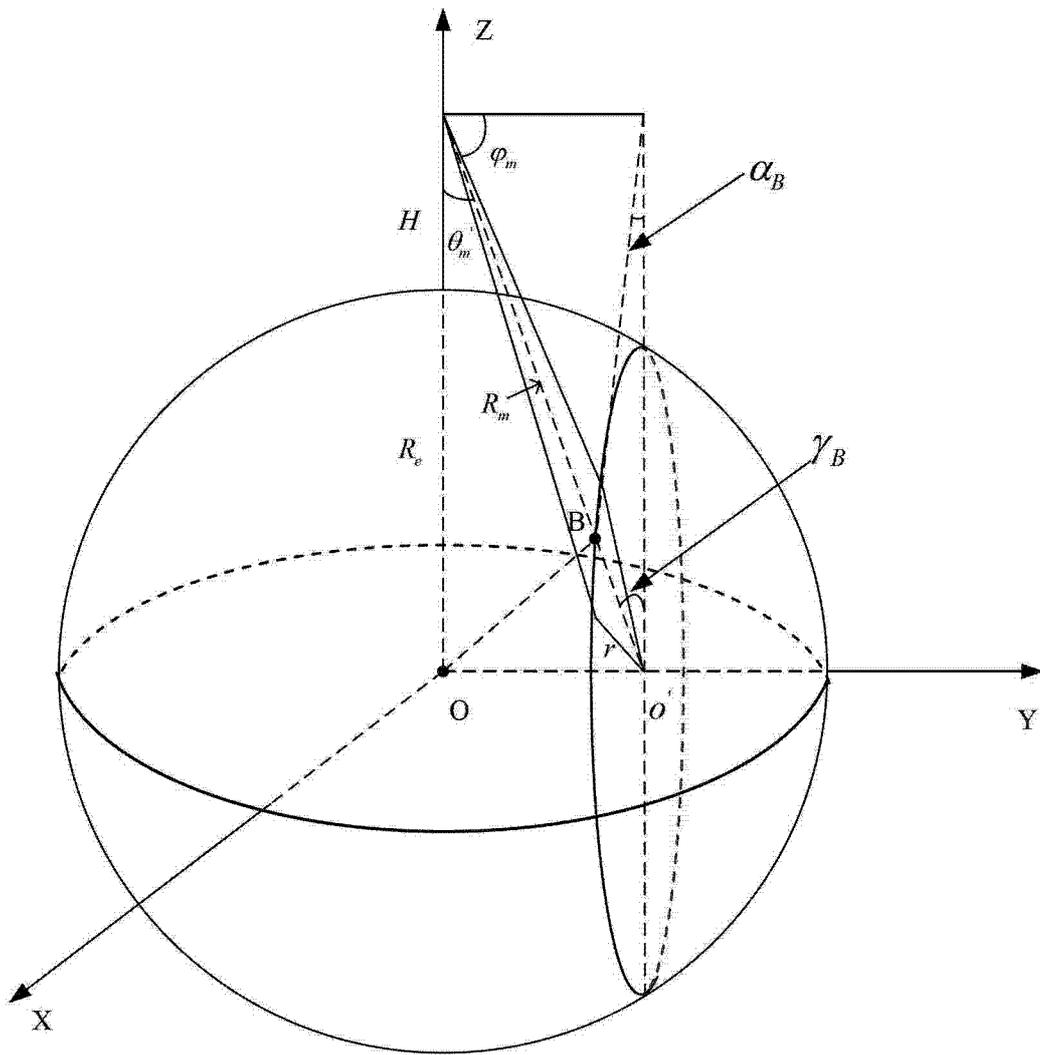


图 4

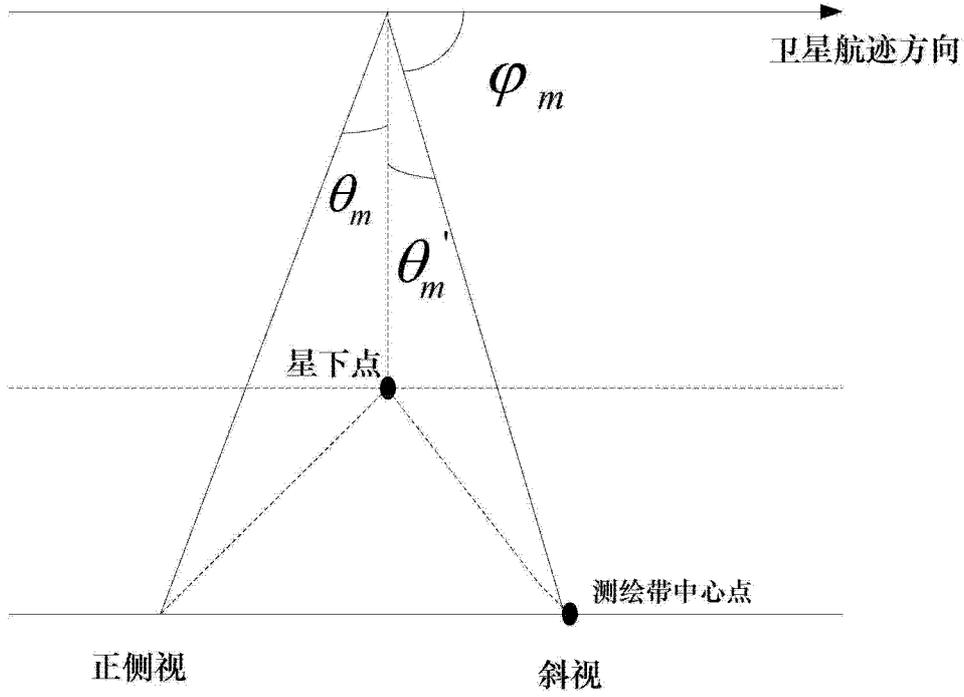


图 5

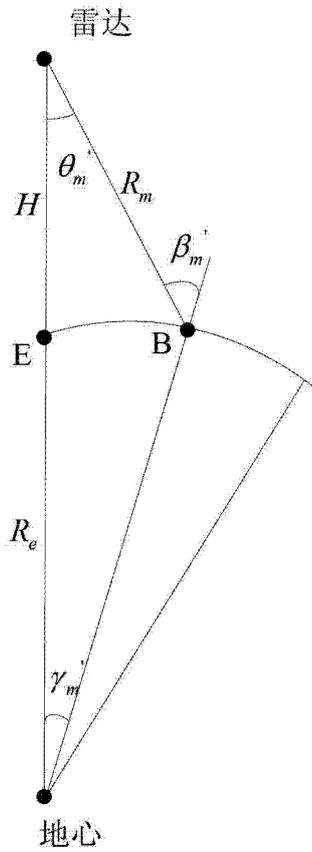


图 6

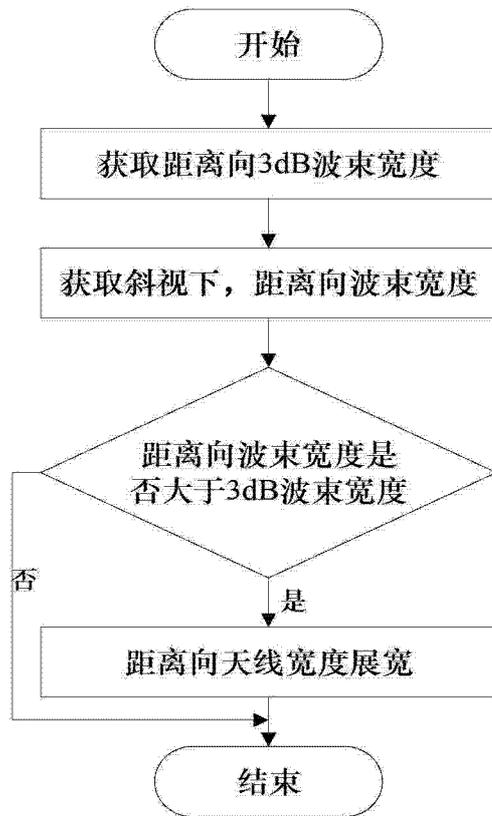


图 7

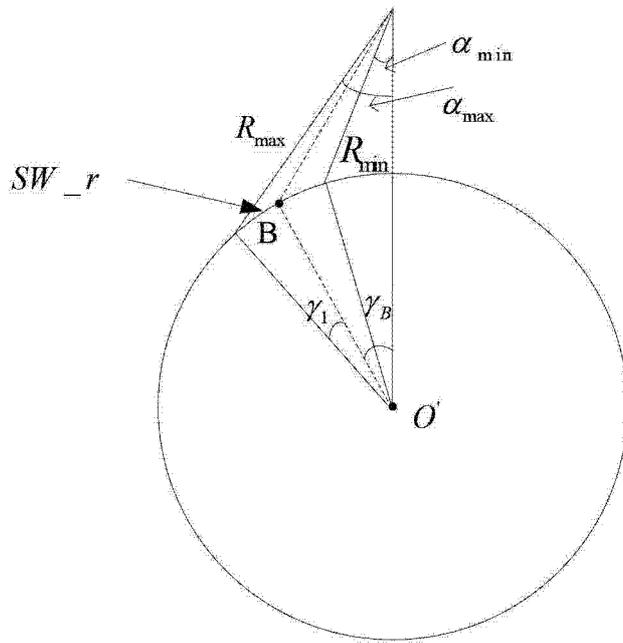


图 8

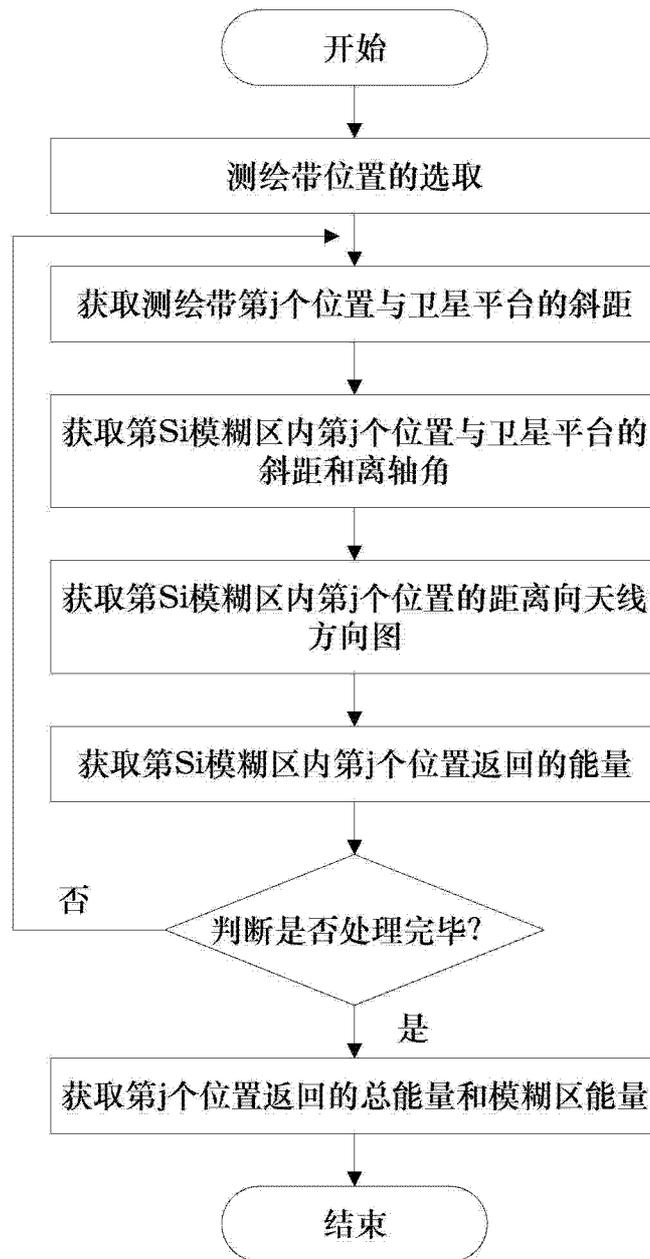


图 9

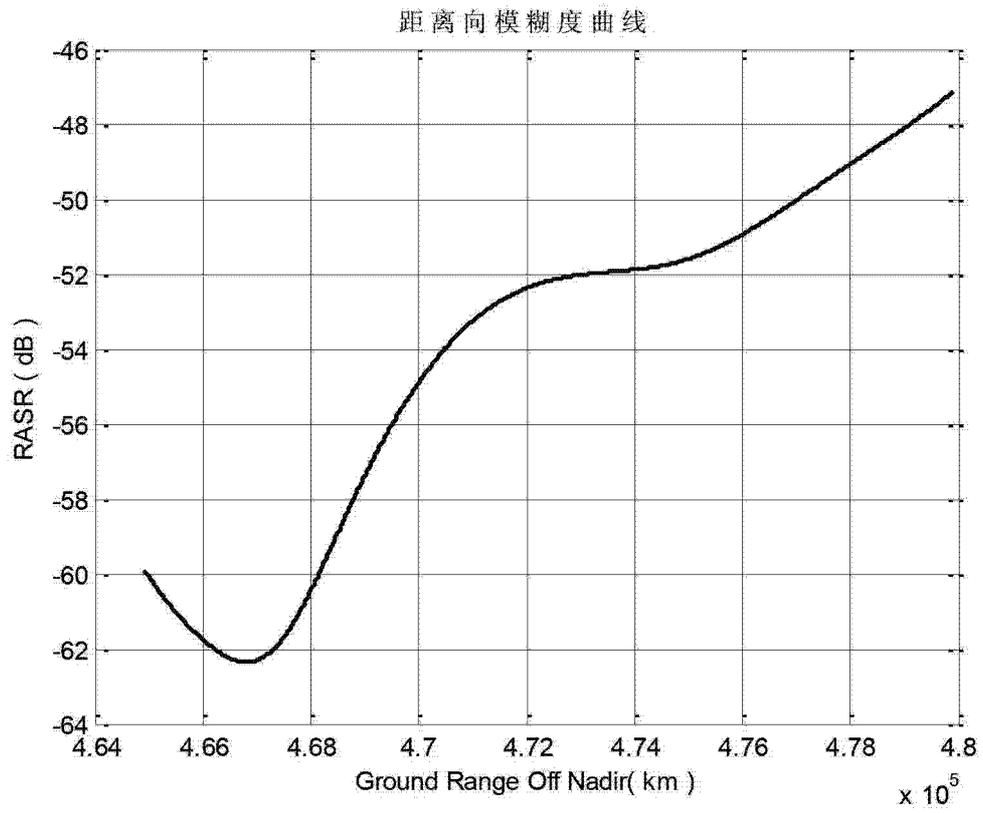


图 10