

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXX—XXXX

海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范

Technical specification for data processing of marine satellite
synthetic aperture radar

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言.....	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 总体要求	2
5.1 坐标系	2
5.2 时制和日界	2
5.3 数据产品分级	2
5.4 数据产品文件组成与格式	2
5.5 数据产品命名	3
6 数据处理过程	3
6.1 数据处理流程	3
6.2 数据处理技术要求	4
6.3 数据准备	4
6.4 L0 级产品数据处理	4
6.5 L1A 级产品数据处理	9
6.6 L1B 级产品数据处理	12
6.7 L1C 级产品数据处理	13
6.8 L2 级产品数据处理	13
7 数据存储与资料归档	14
7.1 数据存储	14
7.2 资料归档	14
附录 A(资料性) 辐射校正和极化校正	15
参考文献	17

前言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会（SAC/TC230/SC3）归口。

本文件起草单位：国家卫星海洋应用中心、中国科学院空天信息创新研究院、中国空间技术研究院遥感卫星总体部。

本文件主要起草人：袁新哲、韩冰、仲利华、李芳芳、赵良波、张颖、石立坚、曾韬、梁超。

海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范

1 范围

本文件确立了海洋卫星合成孔径雷达数据处理的总体要求，并规定了数据处理过程、数据存储与资料归档等内容。

本文件适用于海洋卫星合成孔径雷达L0级~L2级数据产品的处理、制作、存储和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18894 电子文件归档与电子档案管理规范

GB/T 32453 卫星对地观测数据产品分类分级规则

GB/T 35642—2017 1:25 000 1:50 000光学遥感测绘卫星影像产品

3 术语和定义

GB/T 32453界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

方位向 azimuth

在参考坐标系中，与雷达天线相位中心速度矢量一致的方向。

3.2

地距 ground range

斜距在地面上的投影。

3.3

极化校正 polarimetric correction

消除不同极化SAR通道数据之间的幅度、相位不平衡以及极化通道之间串扰的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGC: 自动增益控制 (Auto Gain Control)

BAQ: 分块自适应量化 (Block Adaptive Quantification)

CGCS: 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System)

DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

FRED: 框架化原始扩展数据 (Framed Raw Expanded Data)

GeoTIFF: 地理标签图像格式 (Geographical Tag Image File Format)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

JPEG: 联合图像专家组 (Joint Photographic Experts Group)

MGC: 手动增益控制 (Manual Gain Control)

PRF: 脉冲重复频率 (Pulse Repetition Frequency)

RPC: 有理多项式系数 (Rational Polynomial Coefficient)

SAR: 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar)

TIFF: 标签图像格式 (Tag Image File Format)

- TXT: 文本文件格式 (Text)
- UPS: 通用极球面投影 (Universal Polar Stereographic projection)
- UTC: 协调世界时 (Universal Time Coordinated)
- UTM: 通用横轴墨卡托投影 (Universal Transverse Mercator projection)
- XML: 可扩展标记语言 (eXtensible Markup Language)

5 总体要求

5.1 坐标系

采用CGCS2000国家大地坐标系。必要时,可采用经批准的其它坐标系。

5.2 时制和日界

观测时间采用UTC,以UTC时00时为日界。

5.3 数据产品分级

根据SAR数据被处理程度的不同对数据产品进行分级,按照解数传格式、聚焦成像与辐射校正、极化校正、多视处理、斜地变换、地理编码等数据处理加工过程,数据产品分为三个级别五类产品。代码用一位数字或一位数字加一位字母表示,数字代表级别,字母代表级别内分类。数据产品分级、代码和描述见表1。

表 1 数据产品分级、代码和描述

数据产品 分级代码	类别名称	描述
L0	回波数据	对卫星下传的原始数据进行低密度奇偶校验码解码、解扰、解格式、帧同步、通道合并、通道均衡、格式整理后的数据产品,包含雷达回波数据和辅助数据
L1A	单视复图像	对L0级产品在距离-方位平面进行聚焦成像处理,并经过辐射和极化校正后的单视产品,数据以复数形式保存
L1B	地理参考斜距图像	在L1A级产品基础上进行多视成像和子视非相参处理(根据产品设计要求)、子带拼接(针对扫描模式)、求模处理后的斜距幅度图像产品
L1C	地理参考地距图像	在L1B级产品基础上进行斜距-地距变换处理后的地距幅度图像产品
L2	地理编码图像	在L1B级产品基础上,根据卫星姿轨数据与DEM数据,进行系统级几何校正、地图投影、重采样处理后,得到经过地理编码的幅度图像产品

5.4 数据产品文件组成与格式

数据产品文件组成与格式应符合表 2 的要求。

表 2 数据产品文件组成与格式

数据产品分级代码	文件组成	格式
L0	L0级数据	dat (遵循FRED格式)
	产品元信息	XML
	浏览图	JPEG
	拇指图	JPEG
L1 (L1A、L1B、L1C)	图像数据	TIFF

表2 数据产品文件组成与格式（续）

数据产品分级代码	文件组成	格式
	RPC参数	TXT
	产品元信息	XML
	入射角	XML
	浏览图	JPEG
	拇指图	JPEG
L2	图像数据	GeoTIFF
	产品元信息	XML
	入射角	XML
	浏览图	JPEG
	拇指图	JPEG

5.5 数据产品命名

数据产品文件以压缩包文件形式分发。压缩包文件名由观测信息和产品信息组成，文件名采用下划线连接多个字符串，各字符串表示不同文件属性信息，数据产品命名表示方法见图1。

Sat ID_Station ID_Imag Mode_Orbit ID_Lon_Lat_Imag Date_Level_Polar_Serial
观测信息
产品信息

图1 数据产品命名表示方法

数据产品命名表示方法说明如下：

- a) Sat ID: 遥感卫星标识,用字母或字母与数字表示卫星代号;
- b) Station ID: 卫星数据地面接收站标识,用字母表示;
- c) Imag Mode: SAR载荷成像模式,用字母或字母与数字表示;
- d) Orbit ID: 卫星绝对轨道号,六位数字表示;
- e) Lon: 图像中心位置经度。以东经表示,数值保留小数点后一位;
- f) Lat: 图像中心位置纬度。以北纬表示,数值保留小数点后一位;
- g) Imag Date: 观测日期。采用协调世界时,以YYYYMMDD表示;
- h) Level: 产品等级,按照表1数据产品分级代码;
- i) Polar: 产品极化方式,同极化HH、VV,交叉极化HV、VH,四极化AHV;
- j) Serial: 产品序列号,字母L后加11位数字表示。

示例: GF3_KAS_FSII_029283_E104.7_N26.1_20220303_L1A_HH_L10000000008.tar.gz。

6 数据处理过程

6.1 数据处理流程

数据处理流程示意图见图2。

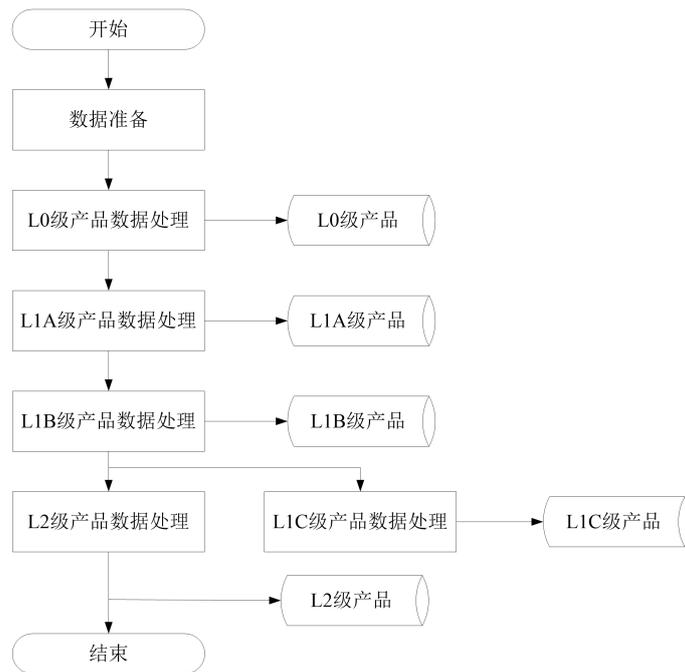


图 2 数据处理流程示意图

6.2 数据处理技术要求

6.2.1 聚焦成像

聚焦成像处理要求如下：

- a) 方位向成像展宽系数应不大于1.01；
- b) 距离向成像展宽系数应不大于1.005；
- c) 方位向、距离向峰值旁瓣比恶化应小于0.5dB；
- d) 方位向、距离向积分旁瓣比恶化应小于0.5dB。

6.2.2 辐射校正/极化校正

辐射校正处理导致的绝对辐射误差应小于0.2dB。极化校正处理要求如下：

- a) 处理导致的通道间幅度误差小于0.2dB；
- b) 处理导致的通道间相位误差小于2°；
- c) 处理后的图像极化隔离度大于45dB。

6.2.3 几何校正

几何校正处理导致的定位误差应不大于1个像元。

6.3 数据准备

在数据处理前，应获取以下外部数据：

- a) 大气校正数据；
- b) 快速精密定轨数据；
- c) 定标常数与距离向/方位向方向图文件；
- d) DEM 数据；
- e) MGC/AGC 地面测量值表；
- f) 系统幅度、相位外场定标结果。

6.4 L0 级产品数据处理

6.4.1 数据处理流程

依据编目分景信息，提取经过解数传格式之后的长条带原始数据中有效载荷数据段，L0级产品数据处理流程见图3。

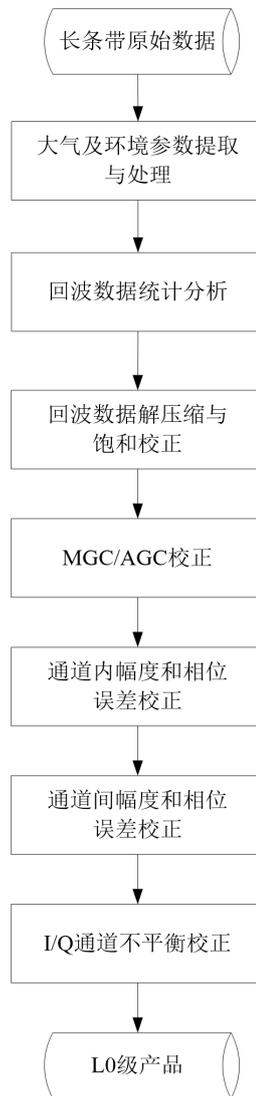


图3 L0级产品数据处理流程

6.4.2 大气及环境参数提取与处理

根据成像时间段和成像区域提取6.3 a) 中的电离层总电子含量和6.3d) 中的成像场景中心高程参数，按照如下方法完成对流层与电离层大气延迟校正：

a) 对流层大气延迟计算见公式 (1) ；

$$ZPD = \frac{1}{\cos \theta} \cdot \Delta Z_{sea} e^{-\frac{h}{h_0}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ZPD —— 对流层大气延迟；

θ —— 雷达入射角；

ΔZ_{sea} —— 海平面上的天顶延迟，宜取值 2.3m；

- e ——自然对数；
- h ——成像场景中心高程；
- h_0 ——大气厚度常数，宜取值 6000m。
- b) 电离层大气延迟计算见公式（2）。

$$\Delta L = \frac{1}{\cos \theta} \cdot K \cdot \frac{TEC}{f^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ΔL ——电离层大气延迟；
- K ——电离层常数， $K=40.28m^3/s^2$ ；
- TEC ——电离层总电子含量，通过外部的全球电离层产品内插得到；
- f ——SAR 信号中心频率。

6.4.3 回波数据统计分析

统计回波数据的功率，判断分块的回波数据是否饱和：

- a) 读取回波数据块的BAQ均值码；
- b) 计算每个数据块中I、Q通道数据标准差，具体计算见公式（3）和公式（4）；

$$S_{BI} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_{BI}(i) - M_{BI})^2}{N}} \dots\dots\dots (3)$$

$$S_{BQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_{BQ}(i) - M_{BQ})^2}{N}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- S_{BI} ——数据块中I通道数据标准差；
- N ——数据块长度；
- i ——数据块中方位向数据序号；
- $U_{BI}(i)$ ——数据块中I通道数据；
- M_{BI} ——数据块中I通道数据均值；
- S_{BQ} ——数据块中Q通道数据标准差；
- $U_{BQ}(i)$ ——数据块中Q通道数据；
- M_{BQ} ——数据块中Q通道数据均值。

- c) 统计每个数据块中回波数据达到最大量化值的比例，即该数据块饱和度。若饱和度超过10%，则认为数据块饱和；
- d) 重复步骤a)~c)，得到所有分块数据的饱和度数组。

6.4.4 回波数据解压缩与饱和校正

根据6.4.3的统计结果，按照如下方法进行回波数据解压缩与饱和校正：

- a) 在回波数据块不饱和情况下，采用常规BAQ解压缩方法完成数据解压缩；
- b) 在回波数据块饱和的情况下，采用抗饱和BAQ解压缩方法完成数据解压缩。

6.4.5 MGC/AGC 校正

MGC/AGC 校正方法如下：

- a) 对于每一个脉冲的回波数据，提取由辅助数据中解析出的相应 MGC/AGC 值；
- b) 查找对应 MGC/AGC 地面测量值表得到 MGC/AGC 校正量，将每个脉冲的回波数据乘以 MGC/AGC 校正量，得到校正后的回波数据，计算见公式（5）。

$$U_2(i) = U_1(i) \cdot G_{MGC/AGC} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $U_2(i)$ ——第 i 个脉冲 AGC/MGC 校正后的回波数据；
- $U_1(i)$ ——第 i 个脉冲的回波数据；
- $G_{MGC/AGC}$ ——MGC/AGC 校正量。

6.4.6 通道内幅度和相位误差校正

利用内定标与外场定标获取的信号收发链路传递函数信息修正理想距离向脉冲压缩函数，具体方法如下：

- a) 将待校正的回波数据进行距离向傅里叶变换；
- b) 读取通道内幅相误差校正函数信息；
- c) 通道内幅度和相位校正方法见公式（6）；

$$U_{channel-correct}(\omega) = U_{tbc}(\omega) [1 - e_{channel-a}(\omega)] \exp[-je_{channel-p}(\omega)] \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $U_{channel-correct}(\omega)$ ——经过通道内幅度和相位校正的数据；
 - ω ——距离频率；
 - $U_{tbc}(\omega)$ ——待校正回波数据；
 - $e_{channel-a}(\omega)$ ——通道内频域幅度误差；
 - j ——虚数单位；
 - $e_{channel-p}(\omega)$ ——通道内频域相位误差。
- d) 进行距离向傅里叶逆变换，得到通道内幅度和相位校正后的回波数据。

6.4.7 通道间幅度和相位误差校正

利用内定标数据和6.3 f)中的系统幅度、相位外场定标结果,对多个收发通道之间幅度和相位的不一致误差进行校正，具体方法如下：

- a) 将待校正通道的回波数据进行距离向傅里叶变换；
- b) 读取通道间幅相不一致校正函数信息；
- c) 通道间幅度和相位校正方法见公式（7）；

$$U_{inter-channel-correct}(\omega) = U_{channel-correct}(\omega) [1 - e_{inter-channel-a}(\omega) - e_{calib-channel-a}(\omega)] \cdot \exp[-je_{inter-channel-p}(\omega) - je_{calib-channel-p}(\omega)] \dots\dots (7)$$

式中：

- $U_{inter-channel-correct}(\omega)$ ——经过通道间幅度和相位校正的数据；
- $e_{inter-channel-a}(\omega)$ ——内定标获取的通道间频域幅度误差；
- $e_{calib-channel-a}(\omega)$ ——外定标获取的通道间频域幅度误差；
- $e_{inter-channel-p}(\omega)$ ——内定标获取的通道间频域相位误差；
- $e_{calib-channel-p}(\omega)$ ——外定标获取通道间频域相位误差。

d) 进行距离向傅里叶逆变换，得到通道间幅度和相位校正后的回波数据。

6.4.8 I/Q 通道不平衡校正

I/Q通道不平衡幅度和相位误差校正具体步骤如下：

a) 读取内定标数据，分别按照公式（8）和公式（9）计算 I、Q 通道数据均值；

$$M_I = \frac{\sum_{i=1}^N U_I(i)}{N} \dots\dots\dots (8)$$

$$M_Q = \frac{\sum_{i=1}^N U_Q(i)}{N} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

M_I —— I 通道数据均值；

$U_I(i)$ ——待校正的 I 通道数据；

M_Q ——Q 通道数据均值；

$U_Q(i)$ ——待校正的 Q 通道数据。

b) 将 I、Q 通道数据分别减去均值；

c) 分别按照公式（10）和公式（11）计算 I 通道数据方差和 Q 通道数据方差，按照公式（12）计算 I、Q 通道数据幅度之比；

$$D_I = \frac{\sum_{i=1}^N (U_I(i) - M_I)^2}{N} \dots\dots\dots (10)$$

$$D_Q = \frac{\sum_{i=1}^N (U_Q(i) - M_Q)^2}{N} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{IQ} = \sqrt{\frac{D_I}{D_Q}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

D_I ——I 通道数据方差；

D_Q ——Q 通道数据方差；

A_{IQ} ——I、Q 通道数据幅度之比。

d) 按照公式（13）计算 I、Q 通道回波数据的互相关系数，I、Q 通道的相位误差计算见公式（14）；

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (U_Q(i) - M(i)_Q)(U_I(i) - M(i)_I)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (U_I(i) - M(i)_I)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (U_Q(i) - M(i)_Q)^2}} \dots\dots\dots (13)$$

$$\theta_{IQ} = \text{angle}(R) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

R ——I、Q 通道回波数据互相关系数；

θ_{IQ} ——I、Q 通道的相位误差。

e) 按照公式 (15) 完成 I/Q 通道不平衡校正。

$$U_{Q_1} = A_{IQ} \cdot U_Q \exp(-j\theta_{IQ}) \dots\dots\dots (15)$$

式中:

U_{Q_1} ——经过校正的 Q 通道数据;

U_Q ——待校正的 Q 通道数据。

6.4.9 L0 级产品格式化输出

依据编目分景信息, 提取长条带原始数据中对应的SAR数据段, 完成6.4.2~6.4.8的处理步骤, 按照L0级产品格式要求输出L0级产品, 并进行数据归档与信息管理系统存档。

6.5 L1A 级产品数据处理

6.5.1 数据处理流程

L1A级产品数据处理流程见图4。

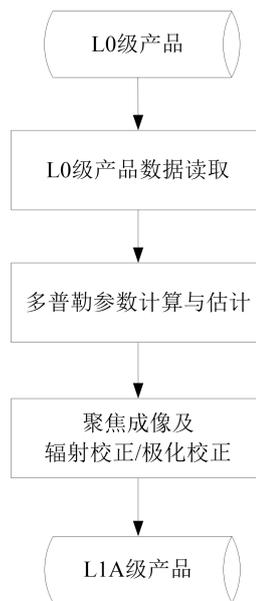


图4 L1A 级产品数据处理流程

6.5.2 L0 级产品数据读取

依据编目分景信息, 读取SAR回波数据及成像参数, 包括观测区域和观测时间段对应的卫星姿轨参数及大气校正参数。

6.5.3 多普勒参数计算与估计

6.5.3.1 技术要求

成像所需的多普勒参数包括多普勒中心频率与多普勒调频率。成像处理一般利用下传的卫星平台测量数据、载荷工作参数与DEM数据, 计算多普勒参数。如果下传的GNSS数据缺失无法计算多普勒参数, 或者计算结果不能满足成像精度要求时(成像结果出现明显的散焦等现象), 应利用回波数据估计多普勒参数。通过计算得到的多普勒中心频率和通过回波数据估计得到多普勒中心频率的精度应优于处理数据PRF的1%。

6.5.3.2 多普勒参数计算

多普勒参数计算采用的卫星平台测量数据包括星历数据、GNSS数据与星体姿态数据；载荷工作参数包括SAR信号中心频率、天线指向与天线相位中心到被观测目标之间的斜距。具体计算方法如下：

- a) 将轨道六根数转化为惯性坐标系下的卫星位置、速度信息；
- b) 读取辅助数据中的 PRF 模糊数，根据 PRF 模糊数、回波延时、距离向采样点数，得到每个脉冲相同距离单元数据对应的斜距信息；
- c) 根据卫星位置、速度和加速度矢量与每个脉冲各距离单元目标对应的位置、速度和加速度，分别按照公式（16）、公式（17）和公式（18）计算目标到卫星的相对位置矢量、相对速度矢量和相对加速度矢量；

$$R_{st} = Sat_P - Tar_P \dots\dots\dots (16)$$

$$V_{st} = Sat_V - Tar_V \dots\dots\dots (17)$$

$$A_{st} = Sat_A - Tar_A \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- R_{st} ——目标到卫星的相对位置矢量；
- Sat_P ——卫星位置矢量；
- Tar_P ——每个脉冲各距离单元数据对应的目标位置；
- V_{st} ——目标到卫星的相对速度矢量；
- Sat_V ——卫星速度矢量；
- Tar_V ——不同脉冲相同距离单元数据对应的目标速度；
- A_{st} ——目标到卫星的相对加速度矢量；
- Sat_A ——卫星加速度矢量；
- Tar_A ——不同脉冲相同距离单元数据对应的目标加速度。

- d) 分别按照公式（19）和公式（20）计算每个脉冲各距离单元目标的多普勒中心频率和多普勒调频率。

$$f_{dc} = \frac{2V_{st} \cdot R_{st}}{\lambda |R_{st}|} \dots\dots\dots (19)$$

$$f_{ar} = \frac{2}{\lambda |R_{st}|} \left[V_{st} \cdot V_{st} + A_{st} \cdot R_{st} - \frac{(V_{st} \cdot R_{st})^2}{|R_{st}|^2} \right] \dots\dots\dots (20)$$

式中：

- f_{dc} ——多普勒中心频率；
- λ ——发射信号波长；
- f_{ar} ——多普勒调频率。

6.5.3.3 多普勒参数估计

6.5.3.3.1 多普勒中心频率估计

根据6.5.3.2得到的多普勒中心频率和多普勒调频率初值结果，按照如下方法完成多普勒中心频率估计：

- a) 将回波数据沿方位向和距离向分块，方位向数据对应的信号长度大于合成孔径长度；
- b) 对每个数据块的每条方位信号进行短时傅里叶变换；
- c) 根据多普勒调频率和多普勒中心频域初值计算时频域中完整信号所在区间；
- d) 将完整信号所在区间之后的时频域区间置零，每个子段信号变回时域，得到时域滤波后的方位信号；
- e) 估计多普勒中心频率，计算见公式（21）；

$$f_{dc}(k) = \frac{prf}{2\pi k} \arg [R(k)] \dots\dots\dots (21)$$

式中：

prf ——脉冲重复频率；

$R(k)$ ——方位向自相关函数， k 为方位向数据。

- f) 用多普勒中心频率估计值成像，通过目视判断成像效果，如果不符合6.5.3.1的要求，应重复步骤c)~e)；
- g) 将各估计区间的估计值进行多项式拟合，输出每个不同脉冲相同距离单元数据的多普勒中心频率中的多普勒中心频率估计值。

6.5.3.3.2 多普勒调频率估计

多普勒调频率估计方法如下：

- a) 对回波数据进行方位向傅里叶变换，通过多普勒调频率的初步计算值生成方位向的匹配滤波器；
- b) 对变换到方位向频域的数据在方位向上分为高低两段；
- c) 按照b)的方法将方位向的匹配滤波器在频域区间分为高低两段；
- d) 对两视数据分别进行方位向匹配滤波，生成两视图像；
- e) 检测两视图像之间的互相关系数峰值位置，可以得到两视之间的时间错位，计算见公式(22)；

$$\Delta\eta = \frac{Maxpos}{prf} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$\Delta\eta$ ——两视之间的时间错位；

$Maxpos$ ——互相关系数峰值位置。

- f) 多普勒调频率估计误差计算见公式(23)；

$$\Delta K_a \approx -\frac{K_{amf}^2}{\Delta f_a} \Delta\eta \dots\dots\dots (23)$$

式中：

ΔK_a ——多普勒调频率估计误差；

K_{amf} ——含有误差的多普勒调频率计算值；

Δf_a ——两视图像之间的中心频率间隔。

- g) 如果互相关系数峰值位置 $Maxpos$ 为0，进入步骤g)如果 $Maxpos$ 不为0，按照公式(23)修正 K_{amf} ，并重复步骤c)~e)；
- h) 将完整信号所在区间之后的时频域区间置零，每个子段信号变回时域，得到时域滤波后的方位信号。

6.5.4 聚焦成像及辐射校正/极化校正

6.5.4.1 聚焦成像

主要采用基于尺度变标的聚焦成像算法。根据载荷成像模式类型不同，需要对尺度变标算法进行适应性修改。基本的尺度变标算法处理步骤如下：

- a) 读入 LO 级数据产品；
- b) 方位向数据傅里叶变换；
- c) 线性调频变标处理；
- d) 距离向数据傅里叶变换；

- e) 距离压缩、二次距离压缩和距离徙动校正；
 - f) 距离向数据傅里叶逆变换；
 - g) 方位压缩与相位补偿；
 - h) 方位向数据逆傅里叶变换。
- 聚焦成像应符合6.2.1的要求。

6.5.4.2 辐射校正/极化校正

辐射校正/极化校正处理在聚焦成像过程中完成，辐射校正/极化校正方法如下：

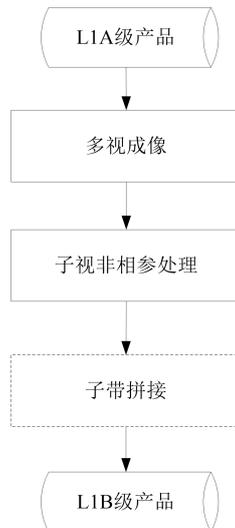
- a) 读取天线方向图、6.3 f) 系统幅度、相位外场定标结果等外场辐射/极化定标参数地面测试数据；
- b) 读取SAR载荷增益变化、系统噪声功率、极化通道幅相不平衡误差载荷工作状态参数；
- c) 读取内定标数据获得的SAR载荷增益变化、系统噪声功率、极化通道幅相不平衡误差载荷工作状态参数；
- d) 利用卫星平台测量数据、SAR载荷工作参数、DEM参数和成像处理参数进行处理器增益、传输衰减量、散射校正系数补偿；
- e) 依据载荷工作状态参数和校正参数，在聚焦成像处理过程中完成对SAR图像的辐射校正/极化校正，校正方法参见附录A。

辐射校正/极化校正应符合6.2.2的要求。

6.6 L1B级产品数据处理

6.6.1 数据处理流程

L1B级产品数据处理流程见图5。



注：虚框中子带拼接处理步骤只适用于扫描成像模式数据处理。

图5 L1B级产品数据处理流程

6.6.2 多视成像

根据数据产品要求的距离和方位多视数，在频域划分图像子视并处理生成子视复图像，具体方法如下：

- a) 将L1A级产品SAR图像转换为二维频域数据；
- b) 将二维频域数据按数据产品要求的距离和方位多视数进行平均分块；
- c) 将每一块频域数据转换为图像域，得到子视复图像。

6.6.3 子视非相参处理

对子视复图像每个像元复数据求功率值，并对子视图像进行功率叠加，完成非相干累加。

注：多视成像与子视非相参处理的目的是抑制斑点噪声，提高SAR图像的信噪比和图像的可视性。

6.6.4 子带拼接

子带拼接处理仅适用于扫描成像模式数据处理，处理方法如下：

- a) 对于扫描模式同一子带内不同脉冲簇成像后的图像，按照方位时间和位置的关系，结合星历参数完成多个脉冲簇之间的拼接处理，获得子带图像；
- b) 对于子带图像，根据斜距、波位间时序、星历等信息进行距离向多个子带之间的拼接，从而获得整景扫描模式图像。

6.7 L1C 级产品数据处理

6.7.1 数据处理流程

L1C级产品数据处理流程见图6。

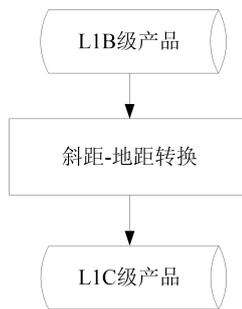


图 6 L1C 级产品数据处理流程

6.7.2 斜距-地距转换

斜距-地距转换处理方法如下：

- a) 沿斜距计算各距离单元对应的入射角信息，计算见公式（24）；

$$\theta = \pi - a \cos \left[\frac{H^2 - R_s^2 - (R_e + h_s)^2}{2R_s(R_e + h_s)} \right] \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- H —— 卫星高度；
- R_s —— 各距离单元对应位置到卫星斜距；
- R_e —— 场景中心地球半径；
- h_s —— 场景中心对应位置的高程。

- b) 根据雷达入射角及斜距-地距转换关系计算每个像元地距值，计算见公式（25）；

$$R_g = R_s \frac{H}{R_e} \sin(\theta) \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- R_g —— 不同脉冲相同距离单元对应的地距值。
- c) 通过双线性重采样方法或其他适用的插值方法得到L1C级产品。
斜距-地距转换应符合6.2.3的要求。

6.8 L2 级产品数据处理

6.8.1 数据处理流程

L2级产品数据处理流程见图7。

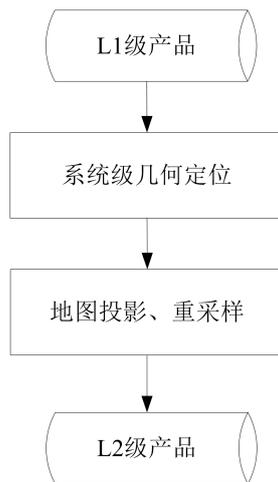


图7 L2级产品数据处理流程

6.8.2 系统级几何定位

系统级几何定位有如下两种方法：

- a) 采用距离-多普勒定位模型，结合 SAR 载荷成像几何关系，利用快速精密定轨数据及成像参数进行几何定位；
- b) 利用 L1A、L1B 和 L1C 级产品元文件中提供的 RPC 参数进行几何定位。RPC 参数文件几何定位方法见 GB/T 35642—2017 中的附录 A。

6.8.3 地图投影

利用 UTM 地图投影、UPS 地图投影等投影法，将图像像元的地理经纬度转换为地图坐标。根据地图投影获得的坐标系统转换关系，利用双线性插值等方法获取地图像元对应的幅度信息，按 GeoTiff 格式存储为 Tiff 文件。L2 级产品数据处理应符合 6.2.3 的要求。

7 数据存储与资料归档

7.1 数据存储

对处理生成的各级产品数据进行存储，具体要求如下：

- a) 数据产品存储方式分为在线存储、近线存储与离线存储，分别用于自动处理的流程数据产品存储、数据产品分发服务存储与数据产品存储；
- b) 数据产品在线存储、近线存储介质为磁盘阵列，离线存储介质为磁带或磁盘。

7.2 资料归档

应按照 GB/T 18894 的要求进行电子文件归档与电子档案管理。

附录 A
(资料性)
辐射校正和极化校正

A.1 辐射校正

辐射校正 是根据雷达方程针对所采用的成像处理算法，对载荷、成像处理和传输引入的增益进行补偿。载荷增益补偿是对天线方向图、链路增益、MGC/AGC校正量、内定标增益等参数进行补偿，上述参数由载荷研制方提供。成像处理增益补偿是对距离向压缩增益、距离向窗增益、方位向压缩增益和方位向窗增益进行补偿。传输增益包括传输衰减增益与散射校正系数。辐射校正方法见公式 (A.1)，公式 (A.1) 中的距离向压缩增益计算见公式 (A.2)，距离向窗增益计算见公式 (A.3)，方位向压缩增益计算见公式 (A.4)，方位向窗增益计算见公式 (A.5)，传输衰减增益 G_L 计算见公式 (A.6)，散射校正系数 $G_{\sigma 0}$ 计算见公式 (A.7)。

$$\text{Sig}_{comp} = \frac{\text{Sig}}{G_{TR}(\theta)G_{Link}G_{Incalib}G_{pro_r}G_{win_r}G_{pro_a}G_{win_a}G_L G_{\sigma 0}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- Sig_{comp} ——辐射校正后图像；
- Sig ——辐射校正前图像；
- $G_{TR}(\theta)$ ——天线方向图；
- G_{Link} ——链路增益；
- $G_{Incalib}$ ——内定标增益；
- G_{pro_r} ——距离向压缩增益；
- G_{win_r} ——距离向窗增益；
- G_{pro_a} ——方位向压缩增益；
- G_{win_a} ——方位向窗增益；
- G_L ——传输衰减增益；
- $G_{\sigma 0}$ ——散射校正系数。

$$G_{pro_r} = \sqrt{(T_p \cdot B_w)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- T_p ——发射信号脉宽；
- B_w ——发射信号带宽。

$$G_{win_r} = \sqrt{\frac{\sum_{i=-N_{wr}/2}^{N_{wr}/2} (W_{rg}(i))^2}{N_{wr}}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- N_{wr} ——距离向信号长度；
- $W_{rg}(i)$ ——距离向窗函数。

$$G_{pro_a} = \sqrt{(Ta \cdot f_{ar} \cdot f_{ar})} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- Ta ——合成孔径时间。

$$G_{\text{win}_a} = \sqrt{\frac{\sum_{i=-N_{wa}/2}^{N_{wa}/2} (W_{az}(i))^2}{N_{wa}}} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

N_{wa} ——方位向信号长度;

$W_{az}(i)$ ——方位向窗函数。

$$G_L = r^2 \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

r ——目标与雷达天线相位中心之间的距离。

$$G_{\sigma_0} = \sqrt{\sin(\theta) \Delta r \Delta a} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

Δr ——距离分辨单元大小;

Δa ——方位分辨单元大小。

A.2 极化校正

极化校正处理方法如下:

- a) 根据内定标系统的校正参数,对原始数据进行极化通道间的幅度、相位不平衡和时间不一致等校正,校正方法见6.4.7;
- b) 对不同极化方式的图像进行方位向和距离向配准,其中方位向配准的偏移量是一个脉冲重复时间;
- c) 根据外定标获取的极化定标参数、发射极化失真矩阵和接收极化失真矩阵,对全极化图像之间的残余系统不平衡进行校正。校正方法见公式(A.8)。

$$S = (R^T)^{-1} M T^{-1} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

S ——校正后图像;

R^T ——接收极化失真矩阵;

M ——待校正的四极化图像;

T ——发射极化失真矩阵。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3784 电工术语 雷达
 - [2] GB/T 14950 摄影测量与遥感术语
 - [3] GB/T 17694 地理信息 术语
 - [4] GB/T XXXX—XXXX 地理信息 成像传感器的地理定位模型 第2部分：SAR/InSAR, lidar 和 sonar
 - [5] ISO 19101—2：2018 Geographic information—Reference model—Part 2：Imagery
 - [6] ISO 19130—1：2018 Geographic information—Imagery sensor models for geopositioning—Part 1：Fundamentals
-

《海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范》

编制说明

行业标准项目名称：海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范

行业标准项目编号：202033003

送审行业标准名称：海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范

（此栏送审时填写）

报批行业标准名称：海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范

（此栏报批时填写）

承担单位：国家卫星海洋应用中心

当前阶段：征求意见 送审稿审查 报批稿报批

编制时间：二〇二三年九月

海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范编制说明

一、概况

1.1 任务来源

2020年9月11日，自然资源部下达《自然资源部办公厅关于印发2020年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（自然资办发[2020]43号），本文件是自然资源部发布的2020年度自然资源卫星应用行业标准计划项目之一，项目编号：202033003，标准计划名称《海洋卫星合成孔径雷达数据处理技术规范》。本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会归口，由国家卫星海洋应用中心牵头起草。计划周期：24个月。

1.2 目的意义

自上世纪七十年代至今，美国、欧空局、加拿大、德国、意大利、日本、印度以及阿根廷等国陆续发射了多颗SAR卫星。由于SAR卫星具有全天时、全天候观测和二维高分辨成像能力，在世界范围内已成为对地观测的重要技术手段。

2016年8月，我国发射了海洋监视监测系列卫星首发星暨我国首颗多极化SAR卫星—高分三号卫星，目前高分三号卫星及其2颗后续业务卫星已经在轨组网运行，其卫星数据有效支撑了我国星载SAR数据在海洋应用领域从示范应用向业务应用过渡。此外，我国“陆探一号”卫星、HJ-1C后续业务卫星等国产SAR卫星也已于近期成功发射。但是由于目前国内尚无星载SAR数据处理相关的技术规范与标准，限制了卫星数据进一步推广与深度应用。本文件基于高分三号系列卫星，旨在规范海洋卫星合成孔径雷达载荷标准数据产品分级定义，明确标准数据产品处理流程、处理方法与技术指标要求，从而为海洋卫星SAR数

据处理、检验提供依据，为数据产品使用者更好地选择与使用数据产品，以及其他行业 SAR 卫星数据处理提供参考。

1.3 主要起草人及工作分工

编制任务下达后，国家卫星海洋应用中心为牵头单位，组织中国科学院空天信息创新研究院、中国空间技术研究院遥感卫星总体部共同成立了编制组。编制组包括了海洋合成孔径雷达卫星研制总体单位、地面处理系统建设与具体研制单位。编制组成员由上述单位合成孔径雷达数据处理、合成孔径雷达数据应用、合成孔径雷达卫星与载荷专业领域的专业技术人员和专家分工合作开展标准各章节的编写，编制组主要人员组成及分工见表 1。

表 1 编制组人员分工

序号	姓名	单位	任务分工	备注
1	袁新哲	国家卫星海洋应用中心	负责组织标准编制大纲、主要内容及征集意见的讨论、修改及标准文本的统稿定稿等工作。参与标准产品处理编写。	主 编
2	韩 冰	中国科学院空天信息创新研究院	起草术语以及总体要求等内容。负责标准审核工作。	副主编
3	仲利华	中国科学院空天信息创新研究院	起草标准产品处理等内容。	成 员
4	李芳芳	中国科学院空天信息创新研究院	起草标准产品分级等内容。	成 员
5	赵良波	中国空间技术研究院遥感卫星总体部	国内外资料收集与调研分析。参与术语编写。	成 员
6	张颖	国家卫星海洋应用中心	国内外 SAR 卫星处理相关标准调研。	成 员
7	石立坚	国家卫星海洋应用中心	国内外 SAR 卫星产品分级标准调研。	成 员

8	曾韬	国家卫星海洋应用中心	SAR 卫星产品格式资料收集。	成 员
9	梁超	国家卫星海洋应用中心	SAR 卫星产品应用情况调研，文档检查。	成 员

1.4 主要工作过程

1.4.1 征求意见稿阶段

2020 年 11 月-2021 年 3 月，编制组开展了大量的调研工作，包括国内外有关现有 SAR 卫星数据产品手册，以及 SAR 卫星数据相关技术标准与实际实施情况，在此基础上，编制组开始起草工作，经过多次补充、修改和完善，形成标准草案。

2021 年 3 月-2021 年 7 月，以标准草案为基础，编制组又以电话、社交软件、电子邮件和视频会议的形式与 SAR 数据处理领域技术优势单位、高校、科研院所的多位技术专家和生产专家进行多次交流探讨，并根据专家意见对标准草案进行修改完善，于 2021 年 7 月完成了编制组讨论稿。

2021 年 7 月-2021 年 9 月，编制组对讨论稿进行多次内部讨论及修改，从整体上梳理标准内容和形式，形成标准征求意见稿第一版和编制说明。

2021 年 9 月-2022 年 1 月，按照全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会标准化工作管理规定要求，征求意见稿第一版发至卫星应用分技委全体委员、相关单位的专家，并在自然资源标准化信息服务平台开始广泛征求有关单位及专家的意见。

2022 年 1 月-2022 年 5 月，截至 2022 年 5 月，回函单位或专家 30 个，其中 9 家单位无意见。共整理意见 114 条，其中采纳意见 101 条，部分采纳意见 1 条，未采纳意见 12 条。针对修改意见，编制组进行了认真研讨，逐条落实了修改意见，形成了送审讨论稿第一版。

1.4.2 送审稿阶段

2022年8月2日，由国家卫星海洋应用中心以线上与线下（北京）相结合的方式组织召开了标准预审会。来自卫星应用分标委、国家海洋计量标准中心、自然资源部国土卫星遥感应用中心、中国自然资源航空物探遥感中心、中国资源卫星应用中心、国防科技大学、上海交通大学、中山大学、湘潭大学、北方工业大学、中国电子科技集团电子科学研究所的10余位专家参加预审会，专家对标准送审讨论稿和编制说明提出了针对性修改意见13条，编制组采纳12条。2022年8月-9月，编制组根据预审会专家提出的意见，对送审讨论稿和编制说明进行了认真修改，形成了征求意见稿第二版。2022年9月-2023年7月，根据预审会专家意见，在卫星应用分技术委员会秘书处指导和建议下，进一步对征求意见稿第二版修改内容向相关专家进行了咨询、确认，根据反馈意见进行了修改完善，并于2023年7月形成送审稿。

1.4.3 报批稿阶段

2023年8月15日，由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会在北京组织召开了标准审查会。来自中国测绘科学研究院、全国地理信息标准化技术委员会、全国海洋标准化技术委员会、国家海洋技术中心、中国自然资源航空物探遥感中心、航天宏图信息技术股份有限公司、中国空间技术研究院、中国交通信息中心、自然资源部国土卫星遥感应用中心、北京化工大学、国防科技大学、中电科集团电子科学研究所、北京航空航天大学、北京61646部队、中山大学、北京96901部队、中国资源卫星应用中心的17位专家参加审查会，会议对标准送审材料进行了认真审查，给出了审查结论，一致同意通过该标准送审稿的审查，建议按照专家审查修改意见修改后以推荐性行业标准报批。

2023年8月-9月，编制组根据审查会意见，对标准送审稿进一步修改完善，形成标准报批稿。

二、 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

2.1 标准编制原则

本文件的编制依据《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）编写，并充分考虑与本文件相关的国家标准和行业标准，认真遵循全面性、适用性、可操作性和先进性等原则。

（1）做好标准内容界定。经多次研究讨论，以避免与其他现行有关标准内容上较大的重叠；

（2）妥善处理与相关法律法规、国家标准和行业标准之间的关系；

（3）注重编写质量，尽可能做到科学、严谨、实用，标准体例及文本编写严格执行 GB/T 1.1-2020 的要求。

2.2 国内外调研情况

目前国内已有遥感卫星观测数据分类分级国家标准 GB/T 32453-2015 卫星对地观测数据产品分类分级规则，该标准针对卫星传感器探测波段及其观测对象的主要特性划分为光学数据产品、微波数据产品和地球物理场数据产品 3 个大类，对于微波数据产品分为主动微波数据产品和被动微波数据产品 2 个种类，对于主动微波数据产品按照频段和极化方式分别分为 11 个频段和 6 种极化组合小类。此外，GB/T 25528-2010（地理信息 数据产品规范）与 GB/T 19710.2-2016/ISO 16115-2:2009（地理信息 元数据 第2部分：影像和格网数据扩展）对主要用于地理信息系统的遥感数据、地面采集数据等数据产品进行了规范。

国外已发射了 SAR 卫星的组织和国家，例如 RADARSAT-2(加拿大)、Sentinel-1(欧空局)、COSMO-SkyMed(意大利)、ALOS-2（日本）与 TerraSAR-X（德国），都公开发布了数据产品手册，但还没有统一的合成孔径雷达数据产品相关标准规范。对于卫星数据产品分级，根据不同卫星任务和主要应用领域不同，定义的产品级别不同，但都包括了雷达回波数据产品、单视复图像产品、地理参考图像产品和地理编码图像产品。国外 SAR 卫星数据产品手册对不同等

级数据产品格式和产品技术指标都有详细的规定和说明，部分数据产品手册描述了不同级别数据产品的处理流程，并对处理方法有简单的说明。

我国首颗民用 SAR 卫星 HJ-1C 卫星于 2012 年 11 月成功发射，卫星搭载 S 频段 SAR 载荷，VV 极化，具有 2 种成像模式，最高分辨率 5m。2016 年 8 月 10 日，我国第一颗以海洋遥感为最主要观测任务的 SAR 卫星高分三号（GF-3）发射升空。GF-3 是我国首颗全极化、多模式、多分辨率 SAR 卫星，其工作频率选定在 C 波段。GF-3 两颗后续星 1 米 C-SAR 卫星 01 星和 02 星也分别于 2021 年 11 月 23 日、2022 年 4 月 7 日发射。陆探一号 01 组两颗卫星分别于 2022 年 1 月 26 日和 2 月 27 日发射，构建起全球首个用于地表形变干涉测量应用的 L 波段 SAR 双星星座。我国 SAR 卫星对地观测能力得到前所未有的提升，在海洋测量应用方面也不断拓展，亟需制定面向海洋 SAR 卫星的数据处理规范，以期促进数据和产品的共享及互操作性，提升数据产品的应用效能。

综合分析国内外合成孔径雷达相关标准、规范，目前尚缺乏针对海洋卫星 SAR 数据产品处理方法和处理流程等相关内容。本文件的提出填补了国内 SAR 数据产品处理标准的空白，为自然资源海洋行业制定了通用标准，允许不同科研和生产单位开发通用的海洋卫星合成孔径雷达数据处理软件，为推动海洋卫星 SAR 数据产品使用，以及与其他行业 SAR 卫星数据产品交换提供了便利。

需要说明的是，本文件针对海洋卫星 L0-L2 级 SAR 数据产品生产编制，并且希望该规范能够供其他行业借鉴推广。对于海洋场景 SAR 数据处理，在目前的海洋卫星地面处理系统中，已经设计了针对海洋动态场景成像、运动船舶成像、旁瓣抑制、模糊抑制等体现海洋技术特点的数据产品；对于海洋应用，也设计有海面风场、海浪谱和船舶产品。由于海洋场景 SAR 数据处理技术针对特定应用场景设计，目前还有待深入研究；海洋应用产品属于 L3 级数据产品。故本文件未包含上述内容，计划后续针对上述内容编制相关标准规范。

2.3 主要技术内容的说明

(1) 范围

本文件确立了海洋卫星合成孔径雷达数据处理的总体要求，并规定了数据处理过程、数据存储与资料归档等内容；本文件适用于海洋卫星合成孔径雷达 L0 级~L2 级数据产品的处理、制作、存储和使用。

(2) 术语和定义

本文件定义了方位向、地距、极化校正 3 个术语。

其中，方位向用于描述合成孔径雷达载荷成像几何关系；极化校正定义了利用内、外定标数据对数据产品的极化特性进行的校正处理。

(3) 总体要求

本文件定义了海洋卫星合成孔径雷达数据处理过程中使用的坐标系（CGCS2000）、时制和日界（观测时间采用 UTC，以 UTC 时 00 时为日界）。

对于数据产品，定义了海洋卫星 SAR 载荷数据产品等级。数据产品等级面向海洋行业应用需求，主要针对数据处理过程和使用需求进行定义，数据产品具体分为为三个级别五类产品，分别是 L0 级回波数据产品、L1A 级单视复数产品、L1B 级地理参考图像斜距产品、L1C 级地理参考图像地距产品、L2 级地理编码图像产品。目前国内遥感卫星数据产品国家标准《GB/T 32453-2015 卫星对地观测数据产品分类分级规则》针对目前已有的光学和主被动微波载荷，对其 0-6 级数据产品分级进行了定义。本文件仅针对星载 SAR 载荷 L0-L2 级标准产品等级进行定义，产品等级划分更精细，针对性更强，产品等级定义与《GB/T 32453-2015 卫星对地观测数据产品分类分级规则》并不完全一致。例如，《GB/T 32453-2015 卫星对地观测数据产品分类分级规则》L2 级产品是经过系统几何校正的产品基础上，根据辐射校正处理程度分为：经过系统几何校正的数据产品、经过相对辐射校正和系统几何校正的数据产品和经过绝对校正和系统几何校正的数据产品 3 个子级产品。而本文件规定的 L1-L2 级产品都是经过绝对辐射定标的，所以 L2 级产品只定义为系统级几何校正产品。

本文件定义的 SAR 卫星数据产品等级、数据产品与格式以及数据产品命名等主要内容，目前已在海洋监视监测系列卫星—高分三号卫星及其后续 1 米 C-SAR 01、02 业务卫星工程中得到应用。其他国产环境与减灾 2 号 05 星和国产陆探一号卫星也采用了本文件规定的主要内容，并在此基础上根据行业特点进行了修改。

数据产品组成与格式规定了不同级别数据产品需包含的文件内容以及相应的文件格式。

数据产品命名规定了数据产品文件名应包含卫星标识、地面接收站标识、成像模式、绝对轨道号、图像中心经度、图像中心纬度、卫星观测时间、产品等级、极化方式、产品序列号等信息。

（4）数据处理

本文件没有给出卫星 SAR 载荷主要技术参数。主要原因是 SAR 载荷可以设计多个成像模式以满足不同的使用需求，不同 SAR 卫星之间，或者相同 SAR 卫星不同成像模式之间主要参数差异较大。例如，高分三号卫星成像模式有 12 种，分辨率范围 1m-500m，成像幅宽范围 10km-650km，包括单、双与四极化 3 种极化组合。环境与减灾 1 号卫星 C 星根据使用需求，只设计了 2 种成像模式，分辨率 5m-25m，观测幅宽 40km-100km。同时考虑目前新一代海洋雷达卫星正在论证，其论证的技术参数与目前海洋雷达卫星有较大差异。所以本文件没有列出详细卫星参数。

数据处理部分规定了海洋卫星合成孔径雷达载荷 L0-L2 级数据产品处理流程。

数据产品图像质量指标由载荷性能、外场定标结果与数据处理等因素决定。本文件针对数据处理规定了聚焦成像、辐射校正、极化校正与几何校正处理需要满足的技术要求。其中，针对聚焦成像处理，本文件规定了处理过程应满足的方位向、距离向成像展宽系数，方位向、距离向峰值旁瓣比和方位向、距离

向积分旁瓣比指标；针对辐射校正处理，规定了处理过程应满足的绝对辐射误差指标；针对极化校正处理，规定了处理应满足的图像隔离度、通道间幅度误差和通道间相位误差指标；针对几何校正处理，规定了处理应满足的定位误差指标。

数据准备部分，规定了数据处理前需要获取的外部数据大气校正数据、精密定轨数据、外场定标获取的定标常数与方位向、距离向方向图、DEM 数据库和 MGC/AGC 地面测量值表、系统幅度与相位外场定标结果。

L0 级产品处理在提取经过解数传格式之后的原始数据中有效载荷数据段之后，本文件规定 L0 级产品处理流程，以及大气及环境参数提取与处理、回波数据统计分析、回波数据解压缩与饱和校正、手动增益控制/自动增益控制校正、通道内幅度和相位误差校正、通道间幅度和相位误差校正、I/Q 通道不平衡校正以及产品格式化输出等具体处理步骤和处理方法。其中，数据解压缩部分，本文件针对数据饱和、不饱和两种情况，分别给出了可选择解压缩算法类型，即针对不饱和情况常规的 BAQ 解压缩算法，和针对数据饱和的抗饱和分块自适应解压缩算法。由于两种类型解压缩实际算法种类较多，对于不同场景性能不同，本文件不对具体算法进行推荐。

L1A 级产品处理部分规定了 L1A 级产品处理流程，以及 L0 级数据读取、多普勒参数计算与估计、聚焦成像及辐射校正/极化校正处理步骤处理方法。其中 L0 级数据读取包括 SAR 回波数据及成像相关参数；多普勒参数计算根据星历数据、GPS 数据以及 SAR 载荷的发射信号载频、斜距，结合 DEM 数据等参数计算多普勒中心频率和多普勒调频率。当多普勒参数计算无法进行或者计算精度不满足使用要求时，本文件给出了利用回波数据估计多普勒中心频率与多普勒调频率的方法；聚焦成像部分，针对海洋卫星地面处理系统主要采用的成像算法，给出了基本的线性调频变标算法的处理步骤；辐射/极化校正是 SAR 数据定量化处理的关键处理步骤，在本文件附录 A 中给出了辐射/极化校正原理与方法。

L1B 级产品处理部分规定了 L1B 级产品处理流程，多视处理、子视非相参处理、子带拼接（针对扫描模式）等处理步骤与方法。多视处理根据指定的距离、方位多视数在频域划分图像子视分别成像；子视非相参处理通过对 SAR 子视复图像逐像元对复数据的实部和虚部进行求模处理提高 SAR 图像的信噪比和图像的可视性；子带拼接针对扫描模式，依据斜距、波位间时序、星历等信息进行距离向多个子带之间的拼接。

L1C 级产品处理部分规定了 L1C 级产品处理流程，斜距-地距转换的处理步骤。首先沿斜距向计算每一距离门的入射角信息，然后根据斜地转换关系逐像元计算地距值，最后通过重采样获取地距像元对应的幅度信息。

L2 级产品处理部分规定了 L2 级产品处理流程，系统级几何校正、地图投影、重采样等处理步骤。系统几何校正基于距离多普勒定位模型，利用快速精密定轨数据及成像参数或有理函数模型（RPC）进行几何定位；地图投影将图像像元的地理经纬度转换为地图坐标；重采样根据地图投影获得的坐标系统转换关系，利用插值方法获取地图像元对应的幅度信息，得到 L2 级产品。

（5）数据产品存储与文档资料归档

数据产品存储规定了数据产品存储方式与存储介质。

文档资料归档 GB/T 18894 的要求等。

三、验证试验的情况和结果

本文件规定内容已在高分三号卫星及其 2 颗后续业务卫星—1 米 C-SAR 卫星 01/02 星卫星工程中实际采用。具体情况如下：

卫星研制总要求是卫星工程最重要的技术文件之一，其内容指导、约束了卫星研制各个环节。2012 年与 2017 年分别编制的高分三号卫星研制总要求与 1 米 C-SAR 卫星 01/02 星研制总要求中，在数据产品等级方面，与本文件数据产品分级内容基本相同。其中，高分三号卫星产品等级包括 L0 级、L1A 级、

L1B 级与 L2 级产品，与本文件规定内容相比，只缺少 L1C 级产品，并且 L0 级、L1A 级、L1B 级与 L2 级产品定义与本文件规定内容相同。1 米 C-SAR 卫星 01/02 星产品等级包括 L0 级、L1A 级、L1B 级、L1C 级与 L2 级产品，各级产品定义与本文件相同。在星地一体化指标方面，研制总要求主要内容与本文件数据产品性能要求内容相同。

以卫星工程中的重要环节卫星在轨测试为例，高分三号卫星在轨测试工作于 2017 年已经完成。1 米 C-SAR 卫星 01/02 星在轨测试工作从 2021 年 11 月 23 日开始实施，截至 2022 年 12 月底已完成了所有测试工作，2023 年 2 月 17 日通过了在轨测试总结评审。在三颗卫星的在轨测试工作中，主要内容之一就是对卫星研制总要求规定的星地一体化指标进行测试检验。3 颗卫星的星地一体化指标规定内容与本文第 7 章数据产品性能指标内容相同。

再以生产卫星数据产品的地面处理系统研制为例，高分三号卫星地面处理系统由中国资源卫星应用中心研制。1 米 C-SAR 卫星 01/02 星地面处理系统由中国资源卫星应用中心与国家卫星海洋应用中心分别研制。两家单位研制的卫星地面处理系统除了都采用了星地一体化指标作为数据产品技术指标之外，采用的本数据处理方法及流程与本文第 8 章数据处理方法规定内容相同（除高分三号卫星没有 L1C 级产品）。

目前高分三号卫星已在轨运行超过 6 年，卫星数据产品累计分发超过 40 余万景，卫星数据在各行业应用反馈良好。1 米 C-SAR 卫星 01 星和 02 星已完成卫星数据地面处理系统研制与在轨测试工作，经过测试，卫星数据产品质量良好，能够满足多个行业业务应用需求。卫星数据将于近期开始分发。以上内容能够验证本文件的有效性。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

国外没有专门的 SAR 卫星数据处理相关的技术标准，与此内容有关的技术文档主要是公开发布的卫星数据产品手册。这些数据产品手册主要用于为数据使用者提供数据产品使用参考，主要内容包含了卫星数据产品分级、数据产品格式和产品技术指标。数据产品分级方面，虽然命名和定义有差异，国外 SAR 卫星数据产品都包括雷达回波数据产品、单视复图像产品、地理参考图像产品和地理编码图像产品。根据不同卫星任务和主要应用领域不同，Sentinel-1 卫星标准数据产品还包括海浪谱、海面风场和径向多普勒速度产品等；ALOS 卫星数据产品还包括斑点噪声抑制产品、干涉图产品等。数据产品格式方面，国外主要卫星数据图像产品主要为 GeoTIFF 或 HDF5 格式，例如 Radarsat 系列卫星数据产品为 GeoTIFF 格式，COSMO-SkyMed 卫星图像数据产品格式为 HDF5，而 ALOS 卫星图像数据产品包括以上 2 种格式。技术指标方面，国外 SAR 卫星数据产品手册都包含了图像数据产品相关的空间分辨率、幅宽、辐射校正指标（绝对辐射精度与相对辐射精度）、极化校正精度（图像隔离度、幅度不平衡度与相位不平衡度）、系统几何校正误差等技术指标。由于国外部分 SAR 卫星数据产品手册介绍了产品处理流程和处理方法，但是由于数据产品手册目的是为了数据使用，产品处理流程和处理方法描述较为简单。数据处理流程只包括不同等级数据产品自动联合处理的流程，没有每个等级数据产品处理流程，例如 Radarsat-2 卫星数据产品手册。

与国外数据产品手册相比，本文件编制内容中数据产品分级、数据产品格式和产品技术指标内容与国外数据产品手册基本相当。但是本文件编制目的除了为数据使用者提供参考，也用于指导 SAR 卫星数据产品处理与检验。因此对于每个等级数据产品处理流程与处理方法都有详细的描述与介绍，这是本文件与国外数据产品手册主要差异。

五、 与现行法规、标准的关系

本文件与现行法律、法规和强制性国家标准不存在冲突与矛盾。

六、 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、 废止现行有关标准的建议

无。

八、 实施标准的要求和措施建议

建议作为推荐性行业标准实施。本文件主要规定的内容是海洋卫星 SAR 数据处理。在标准制定过程中，编制组主要对 SAR 数据产品处理内容进行了规定，因此本文件对于国家标准、其他行业制定相关标准具有参考意义。建议今后有关国家标准、行业标准制修订时，认真做好与本文件之间的协调。

九、 其他应予说明的事项

无。

十、 参考文献

- [1] GB/T 32453 卫星对地观测数据产品分类分级规则
- [2] GB/T 35642—2017 1:25 000 1:50 000 光学遥感测绘卫星影像产品
- [3] GB/T 18894 电子文件归档与电子档案管理规范
- [4] GB/T 3784 电工术语 雷达
- [5] GB/T 14950 摄影测量与遥感术语
- [6] GB/T 17694 地理信息 术语
- [7] GB/T XXXX—XXXX 地理信息 成像传感器的地理定位模型 第2部分：SAR/InSAR, lidar 和 sonar
- [8] ISO 19101-2:2018 Geographic information—Reference model—Part 2: Imagery
- [9] ISO 19130—1:2018 Geographic information—Imagery sensor models for geopositioning—Part 1: Fundamentals
- [10] 王敏. 摄影测量与遥感[M]. 武汉大学出版社, 2011
- [11] 皮亦鸣等. 合成孔径雷达成像原理[M]. 电子科技大学出版社, 2007
- [12] 陈述彭. 遥感大辞典[M]: 科学出版社, 1990

- [13] 匡纲要等. 极化合成孔径雷达基础理论及其应用[M]. 国防科技大学出版社, 2011
- [14] 林明森等. 中国海洋合成孔径雷达卫星工程、产品与处理[M]. 科学出版社, 2020
- [15] 尹迪. SAR 多模式通用化成像处理方法研究[D]. 中国科学院大学, 2020
- [16] 蒋莎. GF-3 卫星全极化 SAR 误差标校与数据质量评价方法研究[D]. 中国科学院大学, 2018
- [17] 韩冰; 张永军; 胡东辉; 黄丽佳. 星载滑动聚束 SAR 成像模型误差校正方法研究. 电子与信息学报. 2011, 33, 1694 - 1699
- [18] Woodhouse I H . 微波遥感导论[M]. 科学出版社, 2014
- [19] Lee J S. Polarimetric radar imaging: from basics to applications [M]. CRC press, 2009
- [20] Raney, R.K, Freeman, T, Hawkins, R.W, etc. A plea for radar brightness[C] International Geoscience & Remote Sensing Symposium. IEEE Xplore, 1994
- [21] Liu, J.; Han, B.; Ding, C.; Meng, D.; Li, F. The preliminary results about positioning accuracy of GF-3 SAR satellite system. In Proceedings of the 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Fort Worth, TA, USA, 23 - 28 July 2017; pp. 6087 - 6089
- [22] Fornaro, G. Trajectory Deviations in Airport SAR: Analysis and Compensation. IEEE T rans. Aerosp. Electron. Syst. 1999, 35, 997 - 1009
- [23]Thompson, A.A.; Ian, H. McLeod: The RADARSAT-2 SAR Processor. Can. J. Remote Sens. 2004, 30, 336 - 344
- [24] Kim, J.; Younis, M.; Prats, P.; Gabele, M.; Krieger, G. First spaceborne demonstration of digital beamforming for azimuth ambiguity suppression IEEE T rans. Geosci. Remote Sens. 2013, 51, 579 - 590
- [25] Krieger, G.; Gebert, N.; Moreira, A. Unambiguous SAR signal reconstruction from nonuniform displaced phase center sampling. IEEE T rans. Geosci. Remote Sens. 1996, 34, 1123 - 1136
- [26] Jin, T.; Qiu, X.; Hu, D.; Ding, C. Unambiguous Imaging of Static Scenes and Moving Targets with the First Chinese Dual-Channel Spaceborne SAR Sensor. Sensors 2017, 17, 1709
- [27] Shimada, M. A New Method for Correcting ScanSAR Scallop Using Forests and Inner-Scan Banding Employing Dynamic Filtering. IEEE T rans. Geosci. Remote Sens. 2009, 47, 3933 - 3942
- [28] Sun, J.; Yu, W.; Den, Y . The SAR Payload Designed and Performance for the GF-3 Mission. Sensors 2017, 17, 2419

- [29] Raney , R.K. ; Runge, H. ; Bamler, R. ; Cumming, I.G. ; Wong, F.H. Precision SAR processing using chirp scaling. IEEE T rans. Geosci. Remote Sens. 1994, 32, 786 - 799
- [30] Freeman, A. ; Curlander, J.C. Radiometric Correction and Calibration of SAR Images. Photogramm. Eng. Remote Sens. 1989, 55, 1295 - 1301
- [31] ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 CEOS SAR Product Format Description. Dec. 6, 2021. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/datause/a2_format_e.htm
- [32] ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 GeoTiff Product Format Description. Dec. 6, 2021. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/datause/a2_format_e.htm
- [33] RADARSAT-2 PRODUCT DESCRIPTION. <https://earth.esa.int/eogateway/catalog/radarsat-1-2-full-archive-and-tasking>
- [34] COSMO-SkyMed SAR Products Handbook. <https://earth.esa.int/eogateway/catalog/cosmo-skymed-full-archive-and-tasking>
- [35] TerraSAR-X Product Specification <https://earth.esa.int/eogateway/catalog/terrasar-x-tandem-x-full-archive-and-tasking>
- [36] Sentinel-1 Product Definition https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/document-library/-/asset_publisher/1d07RF5fJMbd/content/sentinel-1-product-definition