

HY-2 卫星微波辐射计地理定位方法

吴奎桥^{1,2}, 林明森², 郭振宇²

(1. 中国海洋大学, 山东青岛 266100; 2. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081)

[摘要] 海洋二号(HY-2)卫星微波辐射计采用圆锥扫描的方式,对海面温度和大气等目标进行探测。本文根据该载荷的几何模型,得出了适用于微波辐射计特殊扫描方式的地理定位算法,将其用于该载荷的地理定位,并利用图像对结果进行了初步评估。

[关键词] HY-2 卫星;地理定位;坐标系

[中图分类号] V443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)06-0021-06

1 前言

遥感图像的地理定位是计算星载遥感仪器观测图像在地坐标系中坐标的处理过程。地理定位需要考虑仪器扫描几何、仪器空间位置和指向、地球曲率、地形以及仪器运动中产生的微小扰动等因素,卫星遥感数据的几何形变可分为系统性形变和非系统性形变。系统性形变多由遥感仪器本身造成,非系统性形变主要是因为遥感仪器的运动、地球的扁率和旋转以及地形产生的^[1]。

海洋二号(HY-2)卫星是我国第一颗海洋动力环境卫星,该卫星集主、被动微波遥感器于一体,具有高精度测轨、定轨能力与全天候、全天时、全球探测能力。其主要使命是监测和调查海洋环境,获得包括海面风场、浪高、海流、海面温度等多种海洋动力环境参数,直接为灾害性海况预警预报提供实测数据,为海洋防灾减灾、海洋权益维护、海洋资源开发、海洋环境保护、海洋科学研究以及国防建设等提供支撑服务^[2]。

HY-2 卫星装载雷达高度计、微波散射计、微波辐射计和校正微波辐射计以及多普勒雷达和无线

电定位组合系统(DORIS)、双频全球定位系统(GPS)和激光测距仪。其中微波辐射计主要用于获取全球海面温度、海面风场、大气水蒸气含量、云中水含量、海冰和降雨量等^[2]。

HY-2 卫星遥感数据处理的最最终产品需要以高质量的预处理产品为基础,因此对卫星数据预处理产品的质量提出了较高的要求,其中地理定位的精度对各载荷的应用精度起着至关重要的作用。

HY-2 卫星微波辐射计采用圆锥扫描方式,其地理定位方法有其特殊性。本文对微波辐射计数据的地理定位的算法流程进行了全面阐述,并对结果进行了初步评估。

2 微波辐射计地理定位算法及流程

2.1 地理定位算法概述

现对 HY-2 卫星上搭载的微波辐射计传感器 0A 级数据至 1A 级数据转换过程所需的对地观测点地理定位流程进行描述。

本算法主要通过计算天线指向与地球椭球的交点,实现对地观测点的地理定位,坐标转换流程见图 1。

[收稿日期] 2014-04-10

[基金项目] 海洋公益性行业科研专项经费项目“自主海洋动力环境卫星微波遥感处理技术研究示范”(201105032)

[作者简介] 吴奎桥,1973 年出生,男,河北衡水市人,副研究员,研究方向为海洋卫星遥感;E-mail:wkq@mail.nsoas.gov.cn

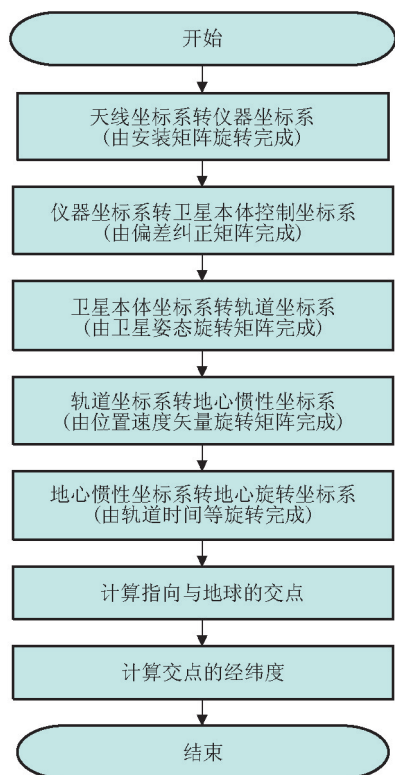


图1 坐标转换流程图

Fig. 1 Coordinate system conversion flow

图1所示的定位算法流程中,共涉及到了7个坐标系。表1中给出了这7个坐标系的定义,这些坐标系的空间指向见图2。地心惯性坐标系为J2000地心惯性系,地心旋转坐标系采用WGS-84直角坐标系,大地测量坐标系基于WGS-84参考椭球体,以经纬度高程表示坐标,各坐标系的转换关系见图3。

表1 坐标系定义

Table 1 Coordinate system definition

序号	坐标系	原点	参考平面	X轴方向
1	天线坐标系	天线质心	天线安装平面	与卫星滚动轴同方向
2	仪器坐标系 (inst)	仪器质心	仪器安装平面	同方向
3	卫星本体坐标系 (sc)	卫星质心	卫星滚动轴与俯仰轴所在平面	与卫星滚动轴指向一致
4	轨道坐标系 (orb)			与卫星速度方向一致
5	地心惯性坐标系 (eci)	地心	J2000平赤道面	指向J2000的平春分点
6	地心旋转坐标系 (ecr)		国际时间局定义的协议地球赤道面	指向BIH1984.0的零子午面和协议地球赤道面的交点
7	大地测量坐标系			

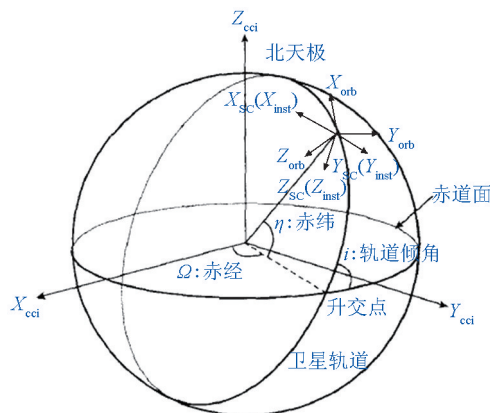


图2 坐标系示意图

Fig. 2 Coordinate system diagram

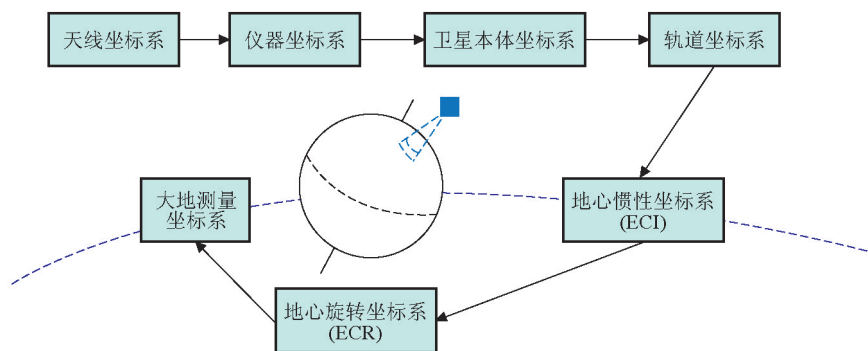


图3 各坐标系转换关系图

Fig. 3 Coordinate system conversion diagram

2.2 定位算法步骤介绍

2.2.1 传感器观测向量的定义

微波辐射计的扫描方式为圆锥扫描,其天线波束方向与星下点方向存在固定夹角,下面对其天线观测向量进行定义。

微波辐射计天线波束方向与星下点方向即Z轴的夹角为 α ,对地观测点均位于传感器飞行方向(见图4和图5),设某时刻的天线旋转扫描角为 θ ,当 θ 为0时,其观测向量可定义为 $[\sin\alpha \ 0 \ -\cos\alpha]^T$ 。当 θ 不为0时,为将观测向量绕Z轴进行旋转 θ 度(该角度通过星上时间计算得到),其旋转矩阵为

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

则观测向量可为 $\vec{P} = [\sin\alpha \cos\theta \ -\sin\alpha \sin\theta \ -\cos\alpha]^T$ 。微波辐射计的成像几何见图4。

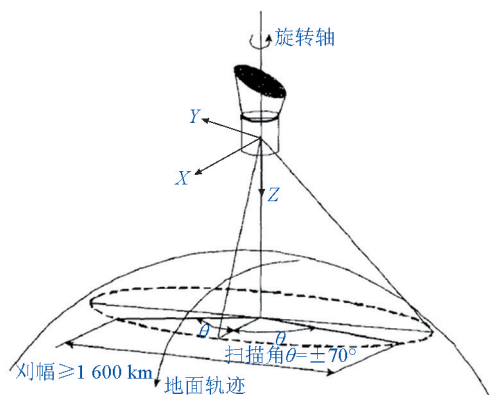


图4 微波辐射计成像几何

Fig. 4 Microwave radiometer imaging geometry

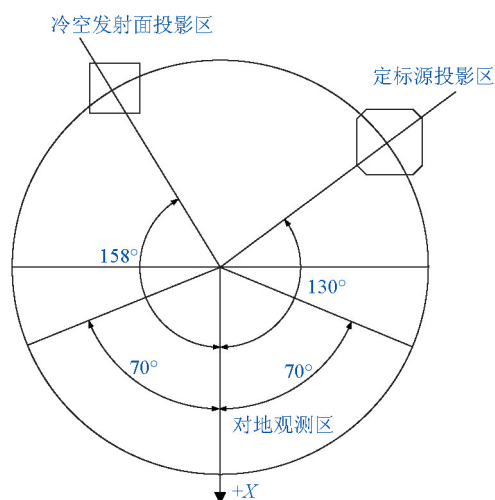


图5 扫描周期时序图

Fig. 5 Scanning period timing series diagram

2.2.2 天线坐标系到仪器坐标系的转换

传感器的观测向量可通过天线在仪器中的安装矩阵旋转至仪器坐标系

$$\vec{P}_{inst} = R_{inst} \vec{P} \quad (2)$$

式(2)中, \vec{P}_{inst} 表示在仪器坐标系中的观测向量; R_{inst} 表示安装旋转矩阵; \vec{P} 表示在天线坐标系中的观测向量。

2.2.3 仪器坐标系到卫星本体坐标系的转换

由于天线、安装平台和卫星本体为刚性相连,一般考虑仪器坐标系转卫星本体坐标系为单位矩阵,因此这里用于描述传感器坐标系到测量坐标系的偏差矩阵,用于纠正各传感器坐标系到测量坐标系的偏差(由于地面精度测量时重力影响,飞行状态时,传感器坐标系相对于姿态测量坐标系存在一定的偏差。)

$$\vec{P}_{sc} = R_{sc} \vec{P}_{inst} \quad (3)$$

式(3), \vec{P}_{sc} 表示在仪器坐标系中的观测向量; R_{sc} 表示偏差纠正矩阵; \vec{P}_{inst} 表示在卫星本体坐标系中的观测向量。

2.2.4 卫星本体坐标系到轨道坐标系的转换

将观测向量从卫星本体坐标系变换到轨道坐标系,主要是消除卫星姿态对定位的影响。卫星的姿态由3个角度向量来描述,分别定义为滚动(roll)、俯仰(pitch)和偏航(yaw)角。其变换矩阵为

$$M_a = M_p M_r M_y \quad (4)$$

式(4)中

$$M_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(A_p) & \sin(A_p) \\ 0 & -\sin(A_p) & \cos(A_p) \end{bmatrix}$$

$$M_r = \begin{bmatrix} \cos(A_r) & 0 & -\sin(A_r) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(A_r) & 0 & \cos(A_r) \end{bmatrix}$$

$$M_y = \begin{bmatrix} \cos(A_y) & -\sin(A_y) & 0 \\ \sin(A_y) & \cos(A_y) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

则轨道参考坐标系中的位置向量为

$$\vec{P}_{orb} = M_a \vec{P}_{sc} \quad (6)$$

式(6), \vec{P}_{orb} 表示传感器在轨道参考坐标系中的观测向量; M_a 表示安装旋转矩阵; \vec{P}_{sc} 表示传感器在卫星本体坐标系中的观测向量。

2.2.5 轨道坐标系到地心惯性坐标系的转换

轨道坐标系(O_2, X_2, Y_2, Z_2)的坐标系原点为

卫星的质心, Z_2 轴通过地球质心到卫星质心的向量经归一化确定, X_2 轴是卫星瞬时速度与 Z_2 轴的归一化叉积, Y_2 轴则由 Z_2 轴和 X_2 轴的叉积定义。

$$\vec{Z}_2 = \frac{\vec{P}(t)}{\|\vec{P}(t)\|} \quad \vec{X}_2 = \frac{\vec{V}(t) \wedge \vec{Z}_2}{\|\vec{V}(t) \wedge \vec{Z}_2\|} \quad \vec{Y}_2 = \vec{Z}_2 \wedge \vec{X}_2 \quad (7)$$

式(7)中, $\vec{P}(t)$ 和 $\vec{V}(t)$ 是经多项式内插或双行根数计算(参见卫星瞬时位置矢量的计算)得到的卫星位置和速度。由轨道坐标系到地心惯性坐标系的转换为

$$\overline{P}_{eci} = \begin{bmatrix} (X_2)_x & (Y_2)_x & (Z_2)_x \\ (X_2)_y & (Y_2)_y & (Z_2)_y \\ (X_2)_z & (Y_2)_z & (Z_2)_z \end{bmatrix} \overline{P}_{orb} \quad (8)$$

式(8)中: \overline{P}_{eci} 表示在地心惯性坐标系中的观测向量; \overline{P}_{orb} 表示在轨道参考坐标系中的观测向量。

2.2.6 地心惯性坐标系到地心旋转坐标系的转换

地心惯性坐标系转换至地心旋转坐标系需要经过以下几步^[3]: a. 地心惯性坐标系至瞬时平赤道坐标系的转换, 需要进行岁差修正; b. 瞬时平赤道坐标系到瞬时真赤道坐标系的转换, 需要进行章动修正; c. 瞬时真赤道坐标系至准地球固定坐标系的转换, 需旋转一个格林尼治真恒星时; d. 准地球固定坐标系至地心旋转坐标系的转换, 需要作极移修正。

则坐标转换公式为

$$\overline{P}_{ecr} = R_4 R_3 R_2 R_1 \overline{P}_{eci} \quad (9)$$

式(9)中, \overline{P}_{ecr} 表示传感器在瞬时平赤道坐标系中的观测向量; R_1 表示岁差修正矩阵; R_2 表示章动修正矩阵; R_3 表示旋转一个格林尼治真恒星时的矩阵; R_4 表示极移修正矩阵; \overline{P}_{eci} 表示在地心旋转坐标系中的观测向量。

2.2.7 地心旋转坐标系到大地测量坐标系的转换

地心旋转坐标系转大地测量坐标系是通过地心旋转坐标系下的观测向量方向与地球椭球的交点来计算大地测量坐标系中的经纬度。可设地球为一椭球体, 通过模型进行位置的计算^[4]。

得到 WGS-84 地心坐标系中的摄影方向线后, 就可以计算视线与椭球体上地面的交点。现在给定地球模型如下

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (10)$$

卫星运行观察地球的几何关系如图6所示。其关系式为

$$\vec{r} = \vec{R} + d\vec{u} \quad (11)$$

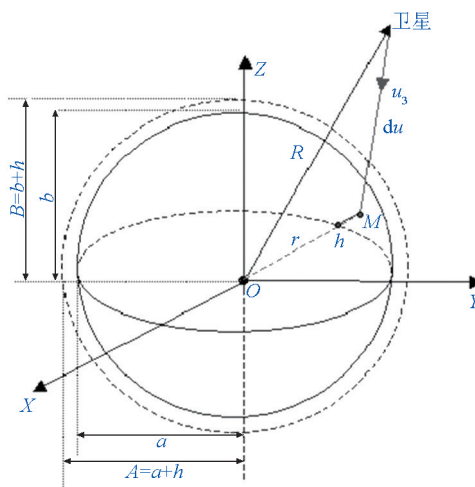


图6 交点计算成像几何

Fig. 6 Imaging geometry of cross point calculation

由于卫星采用 WGS-84 坐标系, 因此这里利用 WGS-84 椭球的参数长轴为 a , 短轴为 b 。假设交点 M 的地心坐标为 (X, Y, Z) , 则有

$$\begin{cases} X = X_p + \mu \times (\mu_3)_x \\ Y = Y_p + \mu \times (\mu_3)_y \\ Z = Z_p + \mu \times (\mu_3)_z \end{cases} \quad (12)$$

可解得

$$\frac{X^2 + Y^2}{(a+h)^2} + \frac{Z^2}{(b+h)^2} = 1 \quad (13)$$

综合解方程组即可得到地面点在地心直角坐标系中的坐标 (X, Y, Z) ^[5]。

2.3 时间码计算

对地观测点在进行定位计算时, 需要确定该观测点的精确时间, 用于计算该时刻卫星的速度位置矢量。

微波辐射计的时间码定义和组帧方式及时间计算方式描述如下。

微波辐射计的4个子源包数据为一组, 子源包长为1008字节, 总观测周期为3.57 s。该传感器所有的时间信息均保存于第一子源包中, 后面3个子

源包对地观测值共计150个,单观测点时间为10 ms。第一子源包中的时间码格式见表2。

表2 微波辐射计时间码数据格式
Table 2 Microwave radiometer time code data format

字节序号	字段名称	字节数	内容	备注
Word[4]	星上时间码	6	25 ms 计数(H)	第一观测点之前最近的发布时间
			25 ms 计数(L)	
Word[5]			秒2	
			秒1	
Word[6]			秒4	
			秒3	
Word[7]	本地计时时间	2	64 ms 计数(H)	从收到发布时间到第一观测点的时间

观测点时间计算公式如下

$$T_{\text{count}} = T_{\text{sate}} + T_{\text{local}} + T_{\text{base}} + I \times 0.01 \quad (14)$$

式(14)中, T_{count} 为第 i 个观测点时间; T_{sate} 为星上时间码; T_{local} 为从收到发布时间到第一观测点的时间; T_{base} 为基准时间(2000年1月1日0点0分0秒)。

2.4 地理定位结果

以2013年2月19日数据为例,图7、图8分别为海面温度和大气水汽含量经等经纬度投影后的图像产品。

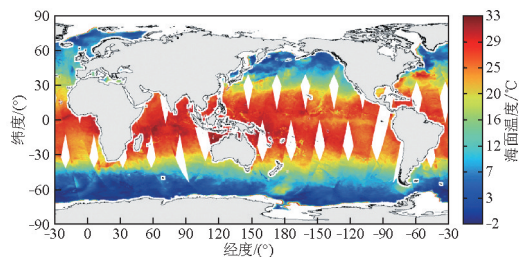


图7 海洋二号卫星扫描辐射计原始分辨率海面温度
Fig. 7 Original resolution sea surface temperature of HY-2 scanning radiometer

从图7和图8可看出,在海陆交界处边界线符

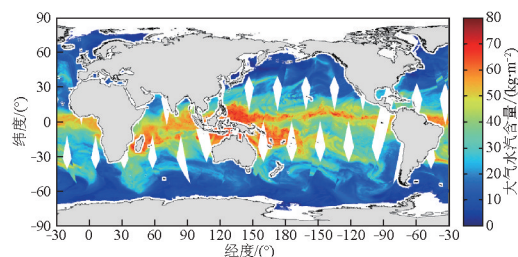


图8 海洋二号卫星扫描辐射计原始分辨率大气水汽含量
Fig. 8 Original resolution water vapor of HY-2 scanning radiometer

合程度较好,精度基本控制在一个像元之内,但是由于微波辐射计分辨率较低(星下点为50 km),由图像不易得到对地理定位算法精度的合理评估,因此在地理定位软件测试的初期,统计了多轨近200组星下点数据的定位值与成熟的商业卫星工具箱软件(STK)的计算结果(采用同样轨道报数据)并进行了对比,最大偏差不大于200 m,均方根误差优于100 m。

3 结语

HY-2卫星微波辐射计遥感数据的地理定位方法包括轨道报的输入、卫星轨道的计算、载荷探测几何模型的建立、各坐标系的推导及参数确定,最后得到各地面探测点的地理经纬度数据,地理定位精度优于像元级精度。本文的方法可以适用于HY-2后续卫星中的类似载荷以及其他采用圆锥扫描方式的卫星遥感载荷的地理定位。

参考文献

- [1] 关敏,杨忠东. FY-3微波成像仪遥感图像地理定位方法研究[J]. 遥感学报,2009,13(3):469-474.
- [2] 海洋二号卫星介绍[EB/OL]. <http://www.nsoas.gov.cn/HY2A/Zhuanti/HY2A/hy202.html>.
- [3] 李济生. 人造卫星精密轨道确定[M]. 北京:科技出版社,2008.
- [4] 刘林. 人造地球卫星轨道力学[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [5] 章仁为. 卫星轨道姿态动力学与控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998.

Geolocation method of HY-2 satellite microwave radiometer

Wu Kuiqiao^{1,2}, Lin Mingsen², Guo Zhenyu²

(1. Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China; 2. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China)

[Abstract] Using cone scanning method, microwave radiometer of HY-2 satellite measures the sea surface temperature (SST) and the atmosphere of the earth. This article represents one geolocation method applied to the microwave radiometer of HY-2 satellite according to the geometry model. The image of microwave radiometer was geolocated with this method, and the result was evaluated at last.

[Key words] HY-2 satellite; geolocation; coordinate system