

一种适用于 WindSat 的地理定位方法

陆 文, 严 卫, 施健康, 任建奇

(解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘要:星载全极化微波辐射计 WindSat 为海面风场的被动微波遥感提供了有效的手段。WindSat 亮温需要经过地理定位才能形成包含目标位置信息的有效物理量。地理定位是辐射计数据预处理的重要环节。针对 WindSat 圆锥扫描方式, 将 Patt94 定位算法进行修改, 应用于 WindSat 地理定位中。详述了定位的计算过程, 给出了定位结果, 讨论了误差分析方法。通过模拟 WindSat 轨道, 对可能的定位误差来源展开分析, 着重分析了辐射计姿态误差、扫描方位误差对定位的影响。最后, 就辐射计姿态校正进行了讨论。

关 键 词: WindSat; 辐射计; 地理定位; 定位误差分析; 姿态校正

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)01-0126-06

1 引 言

空间被动微波遥感自诞生以来, 对海洋、陆地、大气的探测和监测起了巨大的推动作用。2003 年美国发射的 Coriolis 卫星装载了世界上第一台全极化微波辐射计 WindSat, 首次在天基平台使用全极化方法探测海面风场^[1]。WindSat 传感器在 6.8 GHz、10.7 GHz、18.7 GHz、23.8 GHz 和 37 GHz 的 5 个频率上共有 16 个极化通道, 其中, 在 10.7 GHz、18.7 GHz 和 37 GHz 上的通道是全极化的, 能够测量目标极化的全部 4 个 Stokes 参量, 得到目标微波偏振的全部信息。WindSat 的首要任务是测量海面风场, 但同时 WindSat 还可以用来对海洋、陆地和大气等领域的许多其它环境要素进行遥感^[2]。

辐射计亮温需要经过地理定位才能形成包含目标实际地理位置信息的遥感物理量。地理定位是辐射计资料预处理的重要环节。地理定位算法和辐射计的扫描方式有关, WindSat 采用圆锥扫描方式, 图 1 给出了其对目标观测的几何示意^[2]。WindSat 地理定位在原理上类似于以往的双极化辐射计, 但全极化观测对辐射计姿态稳定性提出了更高要求, 定位的不准确对风场反演也会造成影响^[3]。本文针对 WindSat 圆锥扫描方式, 将 Patt94 算法应用到

WindSat 地理定位中, 对原算法的摆扫方式进行了修改, 给出了定位结果与误差分析方法, 并就误差来源与辐射计姿态校正进行了分析。

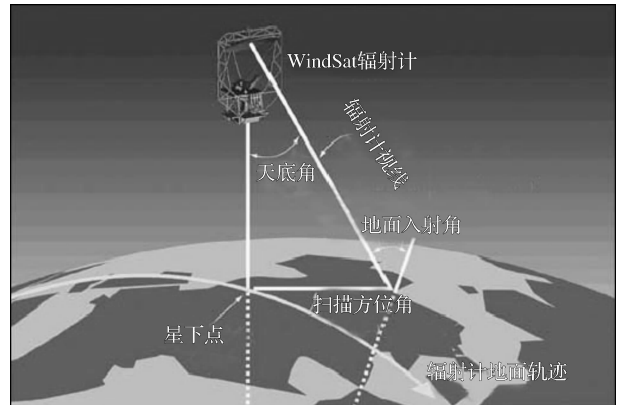


图 1 WindSat 目标观测示意图^[2]

Fig. 1 Pattern of WindSat observation

2 地理定位算法

地理定位算法用来把 WindSat 原始数据记录文件中关于目标站位的信息转换为地面上的经度和纬度。定位算法主要经过一系列坐标变换把辐射计坐标系投影到地心旋转坐标系。该坐标系使用 WGS84 定义的地理中心地球模型。然后, 计算辐射计视线与地面的交截点坐标, 进而转化为经纬度^[4]。

实现地理定位有多种算法,Wilson 1981 年在球面地球上利用几何三角关系求解了地心纬度、经度、传感器的天顶角和方位角,Borkowski 1989 年在椭圆上用迭代方法求解了测地纬度和经度。本文使用 Patt and Gregg(Patt 94)的定位算法进行定位计算。较前两种算法,Patt 94 是一种更为快速精确的算法,是针对摆扫遥感仪器叙述的。对于 Wind-Sat 辐射计的圆锥扫描方式,需要对 Patt 94 算法进行修改,使之可用于圆锥扫描辐射计的定位。

2.1 基本定义

以地球为中心的旋转坐标系 ECR(Earth-Centered Rotating Coordinate System):

原点为地心。X 轴在赤道平面上,指向本初子午线。Y 轴在赤道平面内,指向 90°E。Z 轴为地极轴。

以地球为中心的惯性坐标系 ECI(Earth-Centered Inertial Coordinate System):

原点为地心。X 轴在赤道平面上,指向春分点方向。Z 轴为地极轴。Y 轴为 $Z \times X$ 。

ECR 与 ECI 的关系如图 2 所示。

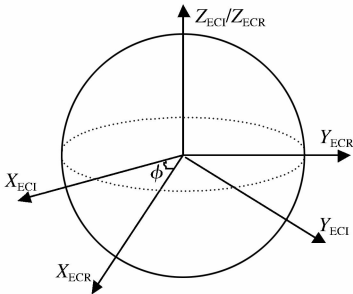


图 2 ECR 坐标系与 ECI 坐标系的关系
Fig. 2 Relation of ECR and ECI

本地卫星轨道坐标系 Ro:

原点为卫星的重心。X 轴平行于卫星的地理垂线,指向天底。Y 轴为卫星惯性速度的方向。Z 轴为 $Z \times Y$ 。

辐射计坐标系 Rs:

由本地卫星轨道参考系加上 3 个转动得到。偏

航轴 yaw、翻滚轴 roll、俯仰轴 pitch 分别对应围绕卫星轨道参考系中 X 轴、Y 轴、Z 轴的旋转。向右旋转取正,左旋取负。

R_o 与 R_s 的关系如图 3 所示。

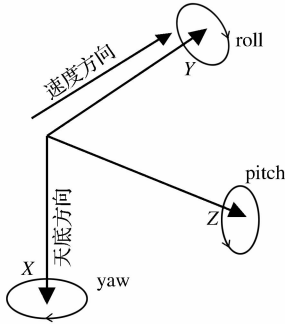


图 3 R_o 坐标系与 R_s 坐标系的关系
Fig. 3 Relation of R_o and R_s

2.2 地理定位过程描述

扫描方位角 φ (Scan Azimuth Angle):扫描目标相对于卫星前进方向的夹角。

天底角 θ (Nadir Angle):目标视矢量与天底方向的夹角。

地理定位过程是计算观测目标经纬度的过程。首先,根据观测数据设置天线观测视向量,就是辐射计的观测矢量。天线视向量是建立辐射计与地面目标关系的纽带。

其次,建立从地心旋转坐标系 ECR 到辐射计坐标系 R_s 的变换 $T_{ecr/sens}$ 。变换表示为:

$$T_{ecr/sens} = T_{ecr/eci} \cdot T_{eci/orb} \cdot T_{orb/sens} \tag{1}$$

其中: $T_{ecr/eci}$ 是从地心惯性坐标(ECI)向地心旋转坐标(ECR)的变换。 $T_{eci/orb}$ 是把卫星的星历转换到 ECI 坐标系中。 $T_{orb/sens}$ 是进行辐射计与卫星姿态(滚动、俯仰、偏航)的校正,这里将辐射计和卫星平台相对于轨道的姿态偏差一并考虑。辐射计坐标系和卫星轨道坐标系之间的关系用辐射计姿态确定。这个变换是一个三维的旋转矩阵,矩阵的成分是辐射计滚动 ξ_r 、俯仰 ξ_p 、偏航 ξ_y 姿态角的函数。形式如下:

$$T_{orb/sens} = \begin{bmatrix} \cos \xi_p & \sin \xi_p & 0 \\ -\sin \xi_y & \cos \xi_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \xi_r & 0 & -\sin \xi_r \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \xi_r & 0 & \cos \xi_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \xi_y & \sin \xi_y \\ 0 & -\sin \xi_y & \cos \xi_y \end{bmatrix} \tag{2}$$

小姿态角时, $\cos \xi \approx 1, \sin \xi \approx \xi$ 。上式可化简为:

$$\begin{pmatrix} 1 & \xi_p & -\xi_r \\ -\xi_p & 1 & \xi_y \\ \xi_r & -\xi_y & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

第三,把观测向量和卫星的星历转换到 ECR 坐标系。

第四,用地球椭圆体模型 WGS84 计算 ECR 坐标系下目标观测向量在球面上的交截点。

最后,把 ECR 椭球上的交截点转换到测地坐标系下。该转换包含了从圆球体到椭球体的转换。并且因为微波辐射计的地面面元很大,此处将目标物视为平地,不考虑地形的影响。

2.3 地球目标物经纬度计算

地球目标经纬度计算使用的是修改的 Patt94 算法。原算法针对的是摆扫方式的遥感仪器,这里将其改进适用于 WindSat 的圆锥扫描方式。在地心旋转坐标系(ECR)中,实际测量的目标物与卫星的几何关系如图 4 所示。

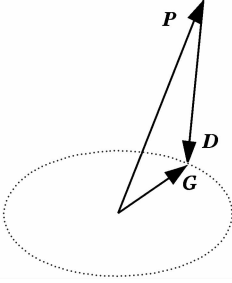


图 4 辐射计观测几何关系示意图

Fig. 4 Geometric diagram of WindSat observing path

其中观测矢量 D 等于像元的位置矢量 G 减去轨道位置矢量 P :

$$D = G - P \quad (4)$$

轨道位置矢量 P 是在 ECR 坐标系中定义的,它可以从轨道模型、星历或者 GPS 数据得到,是一个已知量。对于全极化微波辐射计 WindSat,采用圆锥扫描方式,观测矢量 D 需要通过方位角 φ 和天底角 θ 计算。建立辐射计坐标系 $[X', Y', Z']$,其中 X' 为辐射计局部天底方向, Y' 是速度方向, $Z' = X' \times Y'$ 。为了求解(4),我们需要通过扫描方位角 φ 和天底角 θ ,在辐射计坐标系下确定目标视矢量 $W(X', Y', Z')$,如图 5。

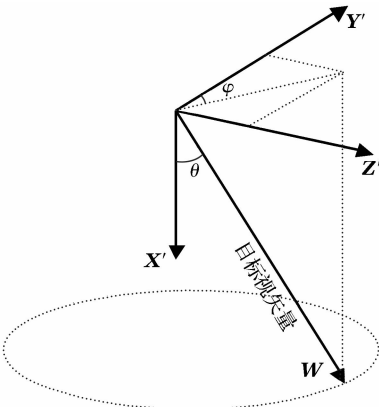


图 5 辐射计坐标系下目标观测示意图

Fig. 5 Object observing vector in Rs coordinate system

然后,把 W 变换到 ECR 坐标系下,也就是变换为 $D(X, Y, Z)$ 。这个变化通过引入一个变换矩阵 $[M]$ 来完成^[5]:

$$W = [M]D = [M](G - P) \quad (5)$$

变换矩阵 $[M]$ 代表了 3 个坐标变换: ECR 到 ECI 变换, ECI 到卫星轨道坐标系变换, 轨道坐标系到传感器坐标系变换。该变换由 $T_{\text{ecr/sens}} = T_{\text{ecr/eci}} \cdot T_{\text{eci/orb}} \cdot T_{\text{orb/sens}}$ 定义求得。那么:

$$G = [M]^{-1}W + P \quad (6)$$

这里 $[M]$ 是单位正交阵, $[M]^{-1} = [M]^T$ 。并且令 $dD' = [M]^T W = D$, 其中 $d = |D| = |W|$, 为视向量的模, D' 为单位视向量。故:

$$G = [M]^T W + P = dD' + P \quad (7)$$

那么由于 G 在椭球上, 所以:

$$\left(\frac{G_x}{r_e}\right)^2 + \left(\frac{G_y}{r_e}\right)^2 + \left(\frac{G_z}{r_p}\right)^2 = 1 \quad (8)$$

这里, 椭球的表面用赤道半径 r_e 和扁率 f 定义。极坐标下的极径为 $r_p = r_e(1 - f)$ 。计算时使用的地球半径为 6 378. 137 km, 扁率为 1/298. 257。

把(7)代入(8), 有:

$$\left(\frac{P_x + dD'_x}{r_e}\right)^2 + \left(\frac{P_y + dD'_y}{r_e}\right)^2 + \left(\frac{P_z + dD'_z}{r_p}\right)^2 = 1 \quad (9)$$

展开有:

$$\begin{aligned} & \frac{P_x^2}{r_e^2} + \frac{2P_x dD'_x}{r_e^2} + \frac{d^2 D'^2_x}{r_e^2} + \frac{P_y^2}{r_e^2} + \frac{2P_y dD'_y}{r_e^2} \\ & + \frac{d^2 D'^2_y}{r_e^2} + \frac{P_z^2}{r_p^2} + \frac{2P_z dD'_z}{r_p^2} + \frac{d^2 D'^2_z}{r_p^2} = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

化简为:

$$Ad^2 + Bd + C = 0 \quad (11)$$

其中: $A = \frac{D'^2_x}{r_e^2} + \frac{D'^2_y}{r_e^2} + \frac{D'^2_z}{r_p^2}$

$$B = 2 \left[\frac{P_x D'_x}{r_e^2} + \frac{P_y D'_y}{r_e^2} + \frac{P_z D'_z}{r_p^2} \right]$$

$$C = \frac{P_x^2}{r_e^2} + \frac{P_y^2}{r_e^2} + \frac{P_z^2}{r_p^2}$$

方程参数 D' 的计算来自辐射计的视矢量, 对于圆锥扫描微波辐射计 WindSat, 目标视矢量由扫描方位角 φ 和天底角 θ 定义。在辐射计坐标系下, 对于 WindSat 某个频率, 天底角固定, 扫描方位角 φ 以角速度 ω 变化, 在某个时刻 t 下:

$$W_{x'} = d \cos \theta$$

$$W_{y'} = d \sin \theta \cos(\varphi_0 + \omega t) \quad (12)$$

$$W_{z'} = d \sin \theta \sin(\varphi_0 + \omega t)$$

因为 $dD' = [M]^T W = D$, 所以:

$$\begin{aligned} D'_x &= M_{11}\cos\theta + M_{21}\sin\theta\cos(\varphi_0 + \omega t) + M_{31}\sin\theta\sin(\varphi_0 + \omega t) \\ D'_y &= M_{12}\cos\theta + M_{22}\sin\theta\cos(\varphi_0 + \omega t) + M_{32}\sin\theta\sin(\varphi_0 + \omega t) \\ D'_z &= M_{13}\cos\theta + M_{23}\sin\theta\cos(\varphi_0 + \omega t) + M_{33}\sin\theta\sin(\varphi_0 + \omega t) \end{aligned}$$

(13)

那么,求解方程(11)中的未知量视向量长度 d ,有:

$$d = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

(14)

由于 2 个解中,离卫星较近的地球表面截点是可见的,因此 d 取绝对值较小的正根。

这样矢量 $\mathbf{W}(\mathbf{X}',\mathbf{Y}',\mathbf{Z}')$ 就得到了,然后用方程(6)就可以得到 $\mathbf{G}(\mathbf{X},\mathbf{Y},\mathbf{Z})$ 。

下面确定 \mathbf{G} 在测地坐标系下的经度和纬度。和地心旋转坐标系相比,测地经纬度要考虑地球曲率的影响,表示为:

$$\begin{aligned} \tan(\text{lat}_d) &= \frac{\tan(\text{lat}_c)}{(1-f)^2} = \frac{G_z}{(1-f)^2(G_x^2 + G_y^2)^{1/2}} \\ \tan(\text{lon}_d) &= \tan(\text{lon}_c) = \frac{G_y}{G_x} \end{aligned}$$

(15)

这里 $\text{lat}_d, \text{lon}_d$ 和 $\text{lat}_c, \text{lon}_c$ 分别表示测地坐标系和地心旋转坐标系里的纬度与经度。那么地球目标的位置就可表示为:

$$\begin{aligned} \text{lat}_d &= \arctan\left[\frac{G_z}{(1-f)^2(G_x^2 + G_y^2)^{1/2}}\right] \\ \text{lon}_d &= \arctan\left[\frac{G_y}{G_x}\right] \end{aligned}$$

(16)

这样,扫描目标点的地理经纬度就被唯一确定下来。

3 定位结果及误差分析

由于定位算法需要作为输入的 WindSat 辐射计姿态偏差数据、卫星轨道参数等资料未公开,仅就未考虑辐射计姿态偏离及采用估算轨道参数下的定位算法结果进行分析,并就定位误差展开讨论。地理定位算法的基本误差表现为测地坐标系下计算每个空间元素位置的准确度。定位误差分析首先讨论误差来源及影响,其次分析误差修正方法,基于现有条件,对辐射计姿态校正进行了具体分析。

3.1 定位结果

WindSat 产品中没有提供定位算法需要的辐射计姿态数据及卫星星历,为了检验算法可行性,计算时默认为辐射计的姿态偏差为 0,即不存在俯仰、翻滚和偏航,并且将每个观测时刻的卫星 GPS 位置数据进行插值得到卫星平台的轨道数据和瞬时速度。

以 WindSat 发布的观测点的地理经纬度为标准,通过选取 2004 年 1 月 1 日一天的 WindSat 观测

数据模拟卫星在轨观测进行验证试验,在去除陆地、降水等被污染点的情况下,纬度向的平均定位误差为 0.0768°,经度向的平均误差为 0.203°。

3.2 误差源分析

造成 WindSat 地理定位误差的原因是多种多样的,卫星位置、辐射计姿态、传感器指向的不确定性,传感器采样时间的误差等均可造成地理定位的偏差^[6]。定位试验中与 WindSat 发布经纬度的偏差主要是由于未进行传感器姿态校正及缺乏卫星的精确星历造成的。经度向的误差较纬度向的误差大的原因是从 ECI 坐标系向 ECR 坐标系的转换需要经度向的旋转,并且定位时要考虑地球自转的影响,经度向计算的复杂性引入了更多的误差。在不考虑算法由于采用估算参数引入的误差后,定位的主要误差还是来源于辐射计姿态偏差、扫描方位误差等方面。

总体上,定位误差可以分为静态误差和动态误差。静态误差是未知的常数偏移量,不随着时间变化,可以用几何参数估值和算法校正对这些常数的偏移量或者偏差进行计算。动态误差是随着时间变化的,不容易用模型来计算。

针对修改的 Patt94 定位算法,表 1 分析了一些相关误差源产生的误差对地理定位的影响结果。这些结果对于 WindSat 所有通道都适用。

表 1 一些可能的误差源对 WindSat 地理定位的影响
Table 1 Influence on WindSat geolocation of possible error sources

可能的误差源	对前视扫描的影响	对后视扫描的影响
辐射计翻滚误差(+)	偏西	偏西
辐射计偏航误差(+)	沿扫描方向偏东	沿扫描方向偏西
辐射计俯仰误差(+)	偏北	偏北
扫描方位角误差(+)	沿扫描方向偏东	沿扫描方向偏西

注:以上是在升轨情形下的结果,对于降轨的情形,定位误差相反。
当误差源误差取负时,定位误差也相反

辐射计地理定位误差往往是多个误差源共同作用的结果,应用中需要将辐射计亮温图和实际地理图进行匹配,确定出误差源并对其取值进行修正。在具体分析中,通常固定其它影响定位的参量而分析某个单一误差源对定位的影响,进而根据实际地面定位偏差反推出误差源的性质和大小。最后,将修正后的参量代入地理定位算法计算出新的定位值。重复上述操作直到地理定位达到要求的精度。

3.3 辐射计姿态校正

定位误差源确定之后,误差的修正包括对卫星轨道的修正、辐射计姿态的校正、辐射计扫描指向的修正、传感器工作常数的校正等,这是建立在对卫星星历、辐射计运行状态、地标参数等参量已知的基础上。基于现有条件,这里给出由定位算法得到的针对 WindSat 传感器姿态校正的方法和结果。

辐射计姿态误差指的是辐射计相对于卫星平台翻滚、偏航、俯仰产生的指向偏差,会对定位产生影响。基于辐射计定位算法,假定得到的地面目标物定位偏差为:

$$\delta \mathbf{G} = \mathbf{G}_t - \mathbf{G} \quad (17)$$

其中: \mathbf{G}_t 是实际地面目标的位置, \mathbf{G} 是定位算法计算的目标位置。那么 ECR 坐标下真正的观测视矢量为: $\mathbf{D}_t + \mathbf{D} + \delta \mathbf{G}$ 。将 \mathbf{D}_t 坐标变换为卫星轨道坐标系下,并化为单位视矢量 \mathbf{u} 。那么针对圆锥扫描辐射计 WindSat 有:

$$\begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta\cos\varphi \\ \sin\theta\sin\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \xi_p & -\xi_r \\ -\xi_p & 1 & \xi_y \\ \xi_r & -\xi_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x'' \\ u_y'' \\ u_z'' \end{bmatrix} \quad (18)$$

其中: ξ_y 、 ξ_r 、 ξ_p 是表示辐射计偏航、翻滚、俯仰误差的 3 个参量,通过求解上述方程组,就可以确定辐射计偏航、翻滚、俯仰 3 个姿态误差的大小。

考虑到存在未知系统误差的情形,要确定辐射计

姿态误差就需要两个以上的地面目标点^[7]。表示为:

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_l \\ \sin\theta_l\cos\varphi_l \\ \sin\theta_l\sin\varphi_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \xi_p & -\xi_r \\ -\xi_p & 1 & \xi_y \\ \xi_r & -\xi_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{x'l} \\ u_{y'l} \\ u_{z'l} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{x'l} \\ \epsilon_{y'l} \\ \epsilon_{z'l} \end{bmatrix} \quad (19)$$

其中: ϵ 是未知的系统误差, l 表示第 l 个地面目标点。利用此方程组求得 ξ_y 、 ξ_r 、 ξ_p 的表达式,并使 $\sum_{l=0}^L (\epsilon_{x'l}^2 + \epsilon_{y'l}^2 + \epsilon_{z'l}^2)$ 最小,由此估计的 ξ_y 、 ξ_r 、 ξ_p 就是辐射计的姿态误差。在实际计算中,辐射计的偏航误差和辐射计扫描的方位角误差可以不加区分,因为它们都会产生沿扫描方向的定位误差。

通过模拟 WindSat 820 km 高的轨道计算,对于 37 GHz 中心波束,图 6 给出了地理定位误差与辐射计姿态的关系。可以看出,在固定扫描方位角下,地理定位偏差与对应的辐射计姿态误差近似成线性关系。偏航导致的定位误差小于俯仰、滚动造成定位误差的一半。随着扫描方位角的变化,由俯仰、滚动造成的地面定位误差呈现了周期性的变化规律。在已知地理定位误差的基础上,通过式(18)、式(19)可分析出辐射计姿态误差,接着将对应的辐射计姿态值进行修正,就达到了姿态校正的目的,从而提高了定位的准确度。计算得到,在 WindSat 5km 定位精度的要求下,辐射计俯仰、翻滚、偏航误差的上限分别为:0.13°、0.14°、0.32°。

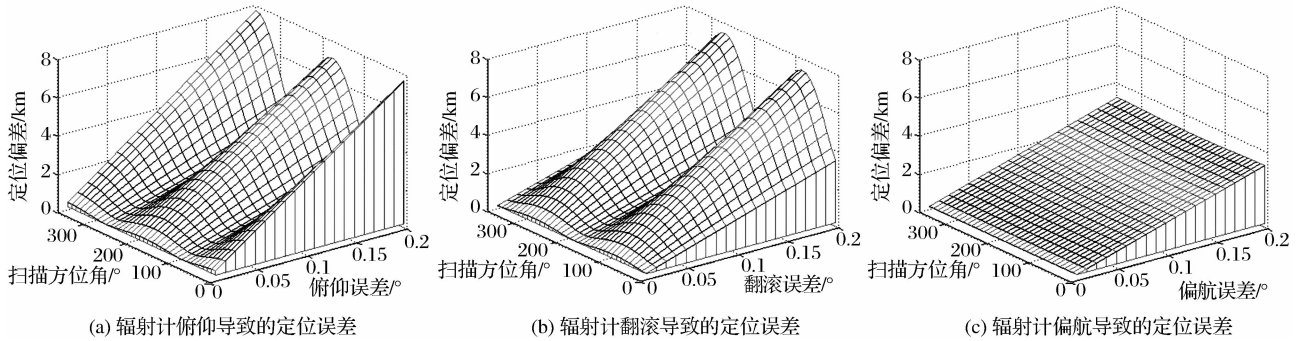


图 6 地理定位偏差与辐射计姿态误差的关系

Fig. 6 Relation of geolocation error and radiometer attitude error

4 结 语

本文提出了一种将 Patt 94 算法应用于全极化微波辐射计 WindSat 地理定位的方法,把原算法的摆扫形式修改为适合 WindSat 的圆锥扫描方式。在定位分析中,模拟 WindSat 轨道,利用一天的 WindSat 观测数据进行了定位验证试验。在缺少某些辐射计参数的情况下,采用估算参数代入定位算法,得到了较好的定位结果,纬度向的平均定位误差

为 0.0768°,经度向的平均误差为 0.203°。最后分析了一些可能的误差源对地理定位的影响,具体给出了辐射计姿态校正的方法和结果。分析得出,本定位方法适用于圆锥扫描类型的辐射计,对 WindSat 进行地理定位是可行的。

由于 WindSat 原始定标数据未公开,本文的误差分析主要是建立在定位算法空间几何关系的基础上,实际辐射计定位误差的来源多种多样,还包括系统时间误差、硬件偏差等方面。定位的误差往往是

多种误差源综合作用的结果,要更加全面的分析 WindSat 定位误差,还需要结合观测亮温与辐射计正演模型,分析比较 4 个 Stokes 亮温值随观测方位变化的规律,找到究竟是辐射计姿态误差或是扫描方位误差还是系统时间误差等对定位结果产生了影响,进而加以去除。这方面工作有待进一步开展研究。

参考文献:

[1] Liu Jingyi, Wang Zhenzhan, Yin Xiaobin, *et al.* An Ocean Wind Retrieval Algorithm for Windsat Microwave Polarimetric Radiometer[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(2): 210-215. [刘璟怡, 王振占, 殷晓斌, 等. 一种针对 WindSat 极化辐射计的海面风场反演方法[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 210-215.]

[2] Gaiser P W, Twarog E M, Karen L L, *et al.* The WindSat Spaceborne Polarimetric Microwave Radiometer: Sensor Description and Early Orbit Performance[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(11): 2347-2361.

[3] Meissner T, Wentz F. Polarization Rotation and the 3rd Stokes Parameter: The Effects of Spacecraft Attitude and Faraday Rotation[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 144: 506-515.

[4] Zhang Renwei. Satellites Orbit and Attitude Dynamics and Control[M]. Beijing: Beihang University Press, 1998. [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.]

[5] Lu Cheng. Preprocessing of NOAA-KLM Data of Polar-orbit Meteorological Satellite[D]. Nanjing: PLA University of Science & Technology, 2004. [陆铮. 第五代极轨气象卫星资料预处理[D]. 南京: 解放军理工大学, 2004.]

[6] Purdy W E, Gaiser P W, Poe G A, *et al.* Geolocation and Pointing Accuracy Analysis for the WindSat Sensor [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(3): 496-505.

[7] Bai Heng, Sun Longxiang. The Fifth Generation of Polar Orbiting Weather Satellite (NOAA-15) Data Calibration and Location[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2003, 21(3): 326-331. [白衡, 孙龙祥. 第五代极轨气象卫星 NOAA-15 资料定标和定位[J]. 气象科学, 2003, 21(3): 326-331.]

A Geolocation Algorithm for WindSat

LU Wen, YAN Wei, SHI Jian-kang, REN Jian-qi

(Institute of Meteorology, PLA University of Science & Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: Spaceborne polarimetric microwave radiometer WindSat can provide the effective measurement for the ocean surface wind vector. The brightness temperatures measured by WindSat need geolocation process. Geolocation is an important part of WindSat data calibration and validation. In this paper, a modified geolocation algorithm of Patt94 is used for WindSat. The evaluation process is presented and the errors are analyzed. By simulating WindSat orbit, possible error sources and their influences are described. Finally, a method for radiometer attitude correction is discussed.

Key words: WindSat; Radiometer; Geolocation; Error analysis; Attitude correction