

## FY-2 区域观测模式下姿态计算特征参数解算

韩琦, 魏彩英, 张晓虎, 赵现纲, 林维夏

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:**为解决风云二号卫星连续区域观测时的精确姿态计算难题,提出了风云二号卫星红外云图的几何模型,并对得到的风云二号卫星姿态计算的关键参数进行了验证.在区域观测模式下,提出了几何距离约束进行模型的解算方法,得到了符合业务运行精度的结果.

**关键词:**区域观测;红外地球云图几何模型;几何距离约束  
**中图分类号:**P405 **文献标识码:**A

### Parameters solution to attitude calculation for FY-2 in regional observation

HAN Qi, WEI Cai-Ying, ZHANG Xiao-Hu, ZHAO Xian-Gang, LIN Wei-Xia  
(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to obtain precise attitude calculation for FY-2 in regional observation, the model of FY-2 full disk infrared images is established. The key parameters for FY-2 attitude calculation resolved from the model is validated. In the regional observation, distance-based algorithm is presented, and the results meet the requirements of precision.

**Key words:** regional observation, full disk infrared images model, distance-based algorithm

**PACS:** 93.85.Bc

### 引言

图像定位是地球同步气象卫星的核心技术,也是地球同步气象卫星定量产品开发、应用的基础.风云二号地球同步气象卫星在气象服务中发挥着越来越重要的作用,其图像定位技术经过多年的研究,已经成为成熟可靠的技术,在业务运行中起到了关键作用.

对于自旋式姿态稳定的地球同步气象卫星,卫星姿态对扫描图像的影响是 24 小时周期变化的,姿态在侧滚、俯仰、偏航方向分别使图像相对于标准图像进行绕星下点旋转、南北方向平移、东西方向平移<sup>[1-2]</sup>.因此在累积了足够的样本后,即可根据卫星观测云图地球几何特征的变化,计算出卫星姿态.目前风云二号卫星姿态计算方法根据全圆盘云图进行设计,区域云图因只观测局部地球,无法利用现有算

法进行姿态计算.风云二号系列卫星扫描方式受此制约,每天需要进行 24 张以上全圆盘云图扫描,最大扫描频次为每小时 2 幅云图,区域扫描方式还没有发挥应有的作用.

美国、欧洲和日本的静止气象卫星已实现了区域观测.风云二号系列静止气象卫星设计本身具有特定区域的扫描能力,在区域扫描模式下,单颗卫星对局部地区可以实现几分钟一次的观测,对于整个中国区域的观测也只需要 10 min.由于区域观测模式下地球几何参数确定方法未能解决,无法进行姿态计算,风云二号卫星的区域扫描功能一直未能启用.

如果能根据区域观测图像确定红外地球云图的几何特征,从而进行卫星姿态计算和图像定位,风云二号卫星区域观测将能提高重点区域云图的观测频次,在气象服务中将能发挥更重要的作用.本文提出了

收稿日期:2012-11-30,修回日期:2013-09-09

基金项目:公益性行业(气象)科研专项经费(GYHY201006046)

Foundation items: Supported by Public Sector (Meteorological) Special Funds for Scientific Research (GYHY201006046)

作者简介(Biography): 韩琦(1979-),男,山西阳城人,工程师,硕士,主要研究领域为静止气象卫星测控管理及地面系统运行控制.

E-mail: hqmars@nsmc.cma.gov.cn

Received date: 2012-11-30, revised date: 2013-09-09

根据区域云图进行云图地球几何特征方法,为风云二号卫星根据区域图像定位奠定基础。

## 1 地球几何特征模型建立及区域观测模式下的解算方法

地球形状为不规则的扁球体,赤道略成椭圆形,静止卫星位于赤道上空,轨道和姿态以24 h为周期进行变化,根据风云二号卫星观测方式的特点,红外地球云图也以24 h周期变化,云图在卫星观域内大小和位置在不同时刻也不相同,因此无法找到一个参数固定的红外地球云图几何模型,模型的参数将会随着时间的变化而改变。

风云二号观测的全圆盘地球红外云图可以近似为一个平面椭圆,红外云图地球轮廓为该模型的边缘点,由于卫星轨道和姿态的影响,云图每条扫描线并不是与其对应模型的长轴平行,其边缘模型方程可以用5个独立的参数来确定:模型中心 $(x_0, y_0)$ ,长轴半径 $a$ ,短轴半径 $b$ ,长轴与 $x$ 轴夹角 $\theta$ ,其形状如图1所示。这5个参数对于不同时刻和不同红外地球云图具有不同的结果,只能根据每张红外云图的情况确定该云图的几何参数。通过长时间序列的参数,才能进行卫星姿态计算。红外地球云图的边缘点模型可以用以下方程来表示:

$$\frac{[(x-x_0)\cos\theta+(y-y_0)\sin\theta]^2}{a^2} + \frac{[-(x-x_0)\sin\theta+(y-y_0)\cos\theta]^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

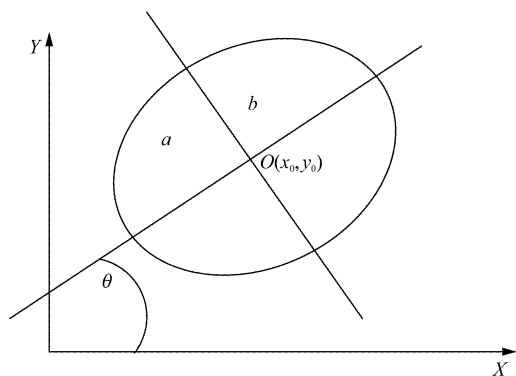


图1 红外云图地球边缘示意图  
Fig.1 Schematic of infrared earth image edge model

通过解算该模型,求出模型的几何参数,式(1)是关于5个参数的复杂的非线性方程,通过变量代换,可以将式(1)变为5个参数的简洁线性方程:

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0 \quad (2)$$

设 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, 3, \dots, N, N \geq 5$ )为红外地球云图轮廓上的边缘点,根据最小二乘法原理,应求目标函数为

$$F(A, B, C, D, E) = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + Ax_i y_i + By_i^2 + Cx_i + Dy_i + E)^2 \quad (3)$$

它的最小值来确定参数 $A, B, C, D, E$ 的值,由极值原理,欲使 $F$ 最小,必有

$$\frac{\partial F}{\partial A} = \frac{\partial F}{\partial B} = \frac{\partial F}{\partial C} = \frac{\partial F}{\partial D} = \frac{\partial F}{\partial E} = 0 \quad (4)$$

通过式(2)~式(4),可求得 $A, B, C, D, E$ 的值,即可求出模型的5个参数<sup>[3-5]</sup>。其中 $y_0$ 对卫星姿态结算具有重要作用,因此下文主要对 $y_0$ 结果精度进行验证。

利用FY2E卫星2012年7月7日0时至2012年7月10日0时之间的全圆盘图像进行分析, FY2E作为业务卫星每日24 h不间断运行,用 $y_0$ 结果计算所得卫星姿态进行云图定位误差在1个红外像元以内,已经得到实际检验,本文将此结果作为比较基础。将以上模型得到的结果与业务实际中的结果进行比较,模型所用边缘点采用直方图法获取<sup>[6-7]</sup>,为像元级边缘点,结果如图2,图中纵坐标为 $y_0$ ,横坐标为全圆盘云图扫描至 $y_0$ 行的时间, $y_0$ 的结果相差在1个像元内,1个像元在卫星云图上为一条扫描线,对应时间差为0.6 s。根据业务中姿态计算结果和定位情况验证结果,误差在两个像元左右时,姿态计算和定位误差在业务允许范围内,该结果符合业务要求。

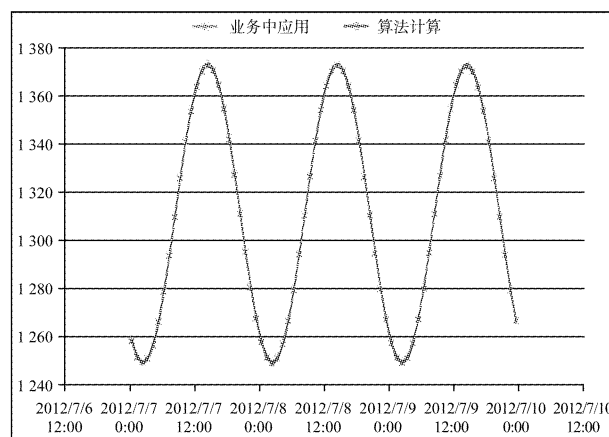


图2 算法模型计算结果和实际结果比较(全圆盘)  
Fig.2 Comparison of the algorithm model results and real results (Full disc)

再从全圆盘图像中截取400~1 000行的图像

模拟区域图像进行计算,其结果如图 3 所示. 图 3 中纵坐标为  $y_0$ , 横坐标为全圆盘云图扫描至  $y_0$  行的时间, 可见在区域云图时, 该模型将不再准确, 因为区域图像获取的边缘点数量远小于全圆盘图像, 利用该解算方法结果精度不足, 和实际结果相差在 4 ~ 8 个像元, 如图 4 所示. 图 4 中纵坐标为模型计算  $y_0$  值与业务中使用的  $y_0$  值之间的差值, 横坐标为全圆盘云图扫描至  $y_0$  行的时间, 已不能满足卫星姿态计算的要求.

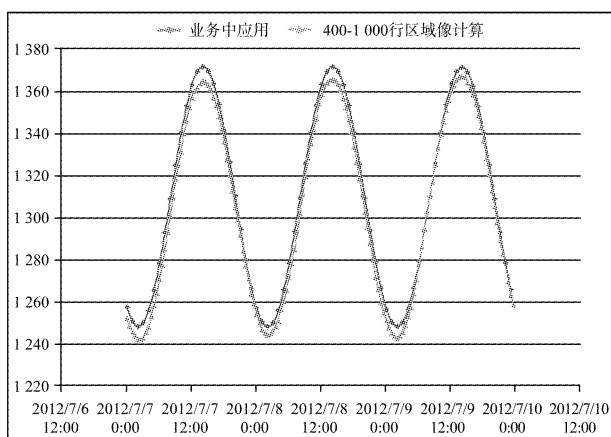


图 3 算法模型计算结果和实际结果比较(400 ~ 1 000 行区域模拟数据)

Fig. 3 Comparison of the algorithm model results and real results (Using part of full disk data, from 400 to 1 000 lines, to simulate regional data)

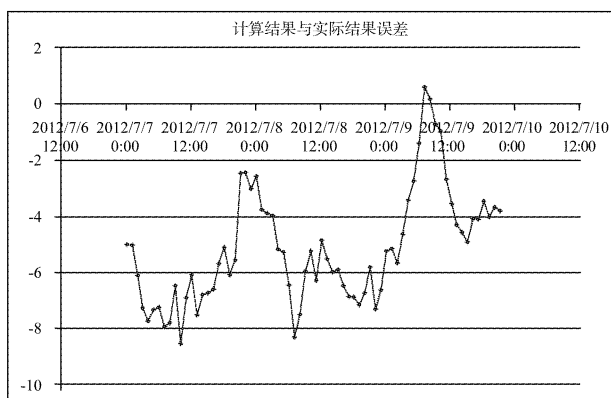


图 4 算法模型计算结果和实际结果误差(400 ~ 1 000 行区域模拟数据)

Fig. 4 Difference between the algorithm model results and real results (Using part of full disk data, from 400 to 1 000 lines, to simulate regional data)

以上模型是基于代数方法的数学模型, 因区域扫描图像的局限性, 用以上模型得到的地球几何特征参数会存在一定的误差. 为获得准确的结果, 需要对模型进行修正或进行条件约束. 本文将利用几何

约束进行模型修正.

将以上方法得到的结果作为初值, 利用几何距离约束可以提高根据区域图像获取的红外云图几何特征参数的精度. 记特征参数为  $A = (a \ b \ x_0 \ y_0 \ \theta)$ . 几何距离拟合问题可表述为最小化:

$$E = (X - X')^T W^T W (X - X') = 0 \quad (5)$$

式中:  $X$  与  $X'$  分别表示  $m$  个给定样本点及相应边缘上最近邻点的坐标列向量;  $W$  是指定的对称正定加权矩阵, 用于调整对不同样本点的权重.

式(2) ~ 式(5)有最小距离解, 则有:

$$\left(\frac{\partial}{\partial A} E\right)^T = 2J^T W^T W (X - X') = 0 \quad (6)$$

其中  $J = \frac{\partial (X - X')}{\partial A}$ .

使用 GAUSS 正则方程, 通过计算以上方程, 即可求出地球几何模型参数, 从而得到卫星姿态计算所需参数.

## 2 数学仿真结果

利用风云静止气象卫星 FY2E 卫星获取的云图全圆盘云图中截取区域观测(400 ~ 1 000 行)进行模拟计算, 结果如图 5 所示, 图 5 中纵坐标为  $y_0$ , 横坐标为全圆盘云图扫描至  $y_0$  行的时间, 可以看出, 用几何距离约束下的模型解算结果精度明显提高, 与业务运行中实际结果误差如图 6, 图 6 中纵坐标为模型计算  $y_0$  值与业务中使用的  $y_0$  值之间的差值, 横坐标为全圆盘云图扫描至  $y_0$  行的时间, 与图 4 结果相比, 误差收敛在 2.5 个像元以内, 基本满足业务运行要求. 利用我国退役卫星 FY2C 区域云图计

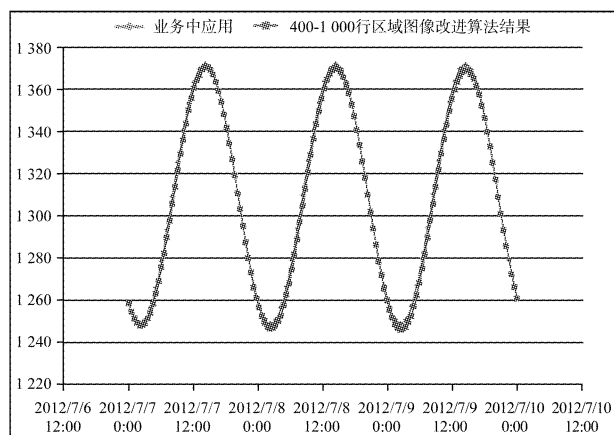


图 5 改进算法模型计算结果和实际结果比较(400-1 000 行区域模拟数据)

Fig. 5 Comparison of the improved algorithm model results and real results (Using part of full disk data, from 400 to 1 000 lines, to simulate regional data)

算结果进行卫星姿态计算及云图定位验证,云图实际定位情况如图 7 和图 8,图中蓝色线为利用本文方法计算的特征参数结果进行姿态计算,从而进行云图定位获得的海陆边界,与实际获取的可见光云图匹配良好,定位误差在 2 个像元以内,满足风云二号卫星业务应用要求。

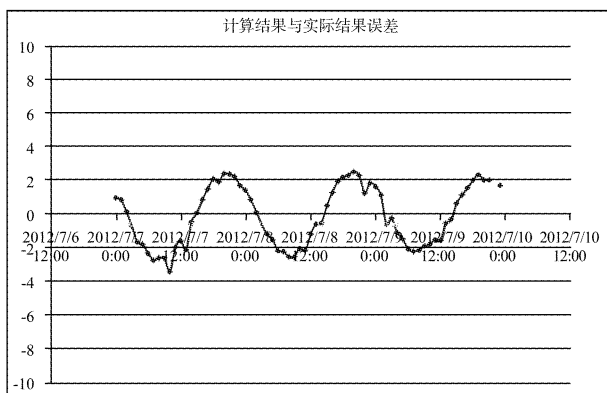


图 6 改进算法模型计算结果和实际结果比较(400~1 000 行区域模拟数据)

Fig. 6 Difference between the improved algorithm model results and real results? (Using part of full disk data, from 400 to 1 000 lines, to simulate regional data)

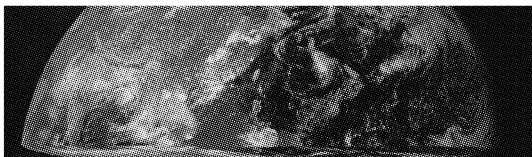


图 7 利用 FY2C 卫星进行算法验证获取的区域云图  
Fig. 7 Regional cloud image of FY2C satellite using improved algorithm

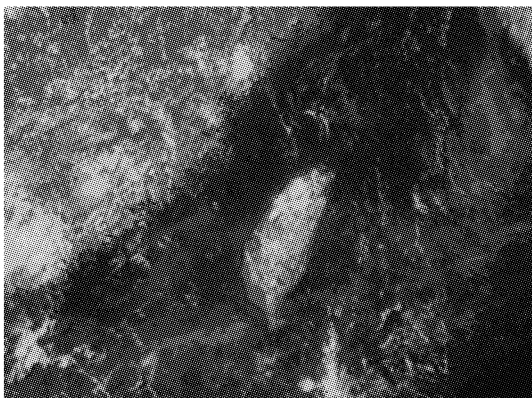


图 8 利用 FY2C 卫星进行算法验证的区域云图定位情况的局部放大图  
Fig. 8 Partial enlarged regional cloud image of FY2C satellite using improved algorithm

### 3 结论

利用 FY2E 实际云图数据作为原始资料,利用经常使用的 400~1 000 行的观测区域图像进行仿真,结果表明,利用本文提出的几何距离约束下的红外云图地球模型可以很好的计算出卫星姿态计算所需的地球几何特征参数.通过退役卫星 FY2C 进行实际区域观测实验,利用本文所采用的方法获得的参数应用于卫星姿态计算和云图定位,定位误差满足风云二号卫星业务要求,使长期连续进行区域观测成为可能。

本文解决了区域观测模式下红外地球云图几何特征参数的确定方法,为风云二号卫星的区域观测打下了坚实的基础,在此基础上,风云二号静止卫星的功能得到了充分发挥.利用该模型计算结果, FY2C 卫星于 2011 年先后在“梅花”台风和深圳第 26 届世界大学生夏季运动会开幕式气象服务中进行了连续区域观测实际应用。

### REFERENCES

- [1] Lu F, Zhang X H, Xu J M. Image navigation for the FY2 geosynchronous meteorological satellite [J]. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, 2008, **25**(7):1149.
- [2] National Imagery and Mapping Agency. Department of defense world geodetic system 1984, its definition and relationships with local geodetic system. Technical Report. NI-MA TR8350. 2 Third Edition Amendment 1, 2000.
- [3] AHN S J, RAUH W, CHO H S. Orthogonal distance fitting of implicit curves and surfaces [J]. *IEEE Trans. PAMI*, 2002, **24**(5):620-638.
- [4] Cui YT, Weng J, Reynolds H. Estimation of ellipse parameters using optimal minimum-variance estimator [J], *Pattern Recognition Letter*, 1996, **3**(17):309-316.
- [5] Bennett N, Burrige R, Saito N. A method to detect and characterize ellipses using the Hough transform [J]. *IEEE Trans on PAMI*, 1999, **21**(7):652-657.
- [6] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy [J]. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 1989, **47**(1):22-32.
- [7] Wong A K C, . Sahoo P K. A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle [J]. *IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics*, 1989, **19**(4) 866-871.