

日本 GMS 扫描云图定位的自适应校准

李凤昌

(空军气象学院, 南京 211101)

提 要

在对 GMS 系列卫星云图进行定位时, 由于种种原因, 有时会出现偏差。该文给出了消除偏差的自适应校准方法。

关键词: 卫星云图 定位 自适应校准

引 言

日本 GMS 系列气象卫星发送的高分辨率数字展宽云图没有加经纬度网格和地图等内容, 这方面的工作需要用户自己来做。在利用卫星发送的卫星高度、姿态、星下点经纬度等参数进行投影定位时, 有时会发现存在平移和比例方面的偏差。要进行准确的定位, 就需要在定位时进行自适应校准。本文讨论进行自适应校准时用到的基本几何关系和校准的方法。

下面的讨论针对红外云图进行, 其给出的方法对其它波段的云图也是适用的。

1 基本思路

GMS 卫星发送下来的全圆盘红外扫描云图, 是在太空背景上的地球表面温度图。地球表面的温度与太空背景温度有较大的差别, 因而很容易将地球表面与背景区分开来, 这就为云图位置的校准提供了明显的参照标志。以云图上地球表面形成的椭圆盘(以下简称地球椭圆盘)作为参照标志进行位置校准的基本思路如下:

先根据卫星发送的卫星高度、姿态、星下点行、列号, 扫描辐射计的步进角、抽样角等参数计算出地球椭圆盘的边线在云图上的位置, 然后用图象边缘检测的方法找出接收下来的云图上地球椭圆盘的边线的位置, 将两者进行比较, 用两者大小的比例和平移偏差对有关参数进行修正, 最后用修正过的参数进行云图的定位, 就实现了位置的校准。

2 地球椭圆盘边线在云图上位置的计算公式

设地球椭圆柱体长半轴为 a , 短半轴为 b , 卫星高度为 h , 星下点经度为 λ_s , 纬度为 φ_s 。建立坐标系使原点处于地心, Z 轴过北极, x 轴垂直经度为 λ_s 的经线, 如图 1 所示。

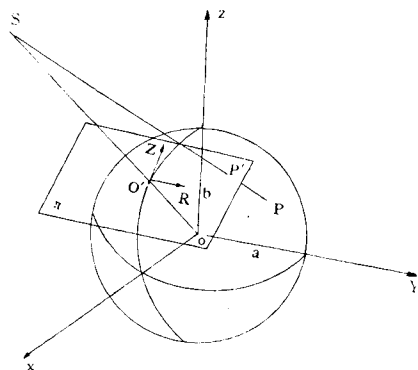


图 1

过星下点 O' 作一投影平面 π , 垂直于地心到卫星的连线 oS , 地球表面上一点 P 到卫星 S 的连线与平面 π 的交点 P' 称为点 P 在平面 π 上的投影。在平面 π 上建立坐标系 $O'YZ$, 原点在 O' , Y 轴与 y 轴平行, Z 轴指向 O' 处之北方。下面先导出从卫星扫描器看到的地球边界线在平面 π 上的投影曲线的表达式, 然后求出该曲线在云图上的对应位置。

地球椭圆柱体表面的方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

该表面上任一点 (x_0, y_0, z_0) 处的切平面方程

为

$$(x - x_0) \frac{x_0}{a^2} + (y - y_0) \frac{y_0}{a^2} + (z - z_0) \frac{z_0}{b^2} = 0 \quad (2)$$

记卫星所在点 S 的坐标为 (x_s, y_s, z_s) , 那么切平面(2)通过点 S 时有

$$\left. \begin{aligned} (x_s - x_0) \frac{x_0}{a^2} + (y_s - y_0) \frac{y_0}{a^2} + (z_s - z_0) \frac{z_0}{b^2} &= 0 \\ \frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0^2}{a^2} + \frac{z_0^2}{b^2} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

该式可变形为

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_s}{a^2} x_0 + \frac{z_s}{b^2} z_0 &= 1 \\ \frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0^2}{a^2} + \frac{z_0^2}{b^2} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式(5)便是从卫星上看到的地球边线的方程。这一方程形式不便于进行自适应校准时使用,因而把它变成平面与柱面交线的表示形式。

从式(5)中第一式得

$$\frac{x_0}{a} = \frac{a}{x_s} (1 - \frac{z_s}{b^2} z_0) \quad (6)$$

将该式代入式(5)中的第二式,得

$$\frac{a^2}{x_s^2} (1 - \frac{z_s}{b^2} z_0)^2 + \frac{y_0^2}{a^2} + \frac{z_0^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

该式可化为

$$\frac{y_0^2}{A^2} + \frac{(z_0 - C)^2}{B^2} = 1 \quad (8)$$

其中

$$A = a \sqrt{\frac{b^2 x_s^2 + a^2 z_s^2 - a^2 b^2}{b^2 x_s^2 + a^2 z_s^2}} \quad (9)$$

$$B = b^2 x_s \sqrt{\frac{b^2 x_s^2 + a^2 z_s^2 - a^2 b^2}{b^2 x_s^2 + a^2 z_s^2}} \quad (10)$$

$$C = (a^2 b^2 z_s) / (b^2 x_s^2 + a^2 z_s^2) \quad (11)$$

式(8)表示的是半长轴为 A , 半短轴为 B , 中心在 $y=0, z=C$, 平行于 x 轴的椭圆柱面。方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_s}{a^2} x_0 + \frac{z_s}{b^2} z_0 &= 1 \\ \frac{y_0^2}{A^2} + \frac{(z_0 - C)^2}{B^2} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

就是用椭圆柱面与平面的交线表示的从卫星扫描辐射器看到的地球边线的方程。

$$(x_s - x_0) \frac{x_0}{a^2} + (-y_0) \frac{y_0}{a^2} + (z_s - z_0) \frac{z_0}{b^2} = 0 \quad (3)$$

于是得到过 S 点与地球椭圆柱体表面相切的平面在地球椭圆柱体表面的切点 (x_0, y_0, z_0) 满足方程

为了便于描出该空间曲线在平面 π 上的投影,把方程(12)用参数方程表示为

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= A \cos t \\ z_0 &= C + B \sin t \\ x_0 &= \frac{a^2}{x_s} (1 - \frac{z_s}{b^2} z_0) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

其中 t 为参变量,变化范围为 0 到 2π 。

把 $oxyz$ 坐标系绕 y 轴旋转角度 φ_s' , 得新坐标系 $ox_1y_1z_1$, 点 (x_0, y_0, z_0) 在新坐标系中的坐标为 (x_1, y_1, z_1)

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 \cos \varphi_s' + z_0 \sin \varphi_s' \\ y_1 &= y_0 \\ z_1 &= -x_0 \sin \varphi_s' + z_0 \cos \varphi_s' \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

其中 φ_s' 为星下点的地心纬度^[3]。在新坐标系中,卫星所在点 S 的坐标为 $(H_s, 0, 0)$, 其中

$$H_s = h + r_s \quad (15)$$

为卫星到地心的距离。平面 π 的方程为

$$X = r_s \quad (16)$$

r_s 的表达式为^[3]

$$r_s = ab / (b^2 \cos^2 \varphi_s' + a^2 \sin^2 \varphi_s') \quad (17)$$

过点 $(H_s, 0, 0)$ 和 (x_1, y_1, z_1) 的直线方程为

$$(\bar{X} - H_s) / (x_1 - H_s) = Y / y_1 = Z / z_1 \quad (18)$$

该直线与平面 π 的交点就是曲线(13)上一点 (x_0, y_0, z_0) 在平面 π 上的投影,它在平面 π 上坐标系 $O'YZ$ 中的坐标 Y, Z , 可由式(16)、(18)联立解得

$$\left. \begin{aligned} Y &= y_1 \frac{h}{r_s + h - x_1} \\ Z &= z_1 \frac{h}{r_s + h - x_1} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

让式(13)的参变量 t 从 0 变到 2π , 由式(13)、(14)、(17)、(19)求出对应的 Y, Z , 就得到了

从卫星扫描辐射计看到的地球边线在平面 π 上的投影。下面求出该投影曲线在云图上的对应位置。

式(19)的 Y, Z 是地球边线在平面 π 上的投影曲线上的点,用文献[3]中给出的方法,可求出该点在云图上的位置(Y_1, Z_1)

$$Z_1 = \frac{1}{\Delta\eta_Z} \arctg \frac{Z}{h} \quad (20)$$

$$Y_1 = \frac{1}{\Delta\eta_Y} \arctg \frac{Y}{\sqrt{Z^2 + h^2}} \quad (21)$$

转换成云图上的行、列号 l_P 和 C_P , 为

$$l_P = l_S - Z_1 \quad (22)$$

$$C_P = C_S - Y_1 \quad (23)$$

其中 l_S 和 C_S 分别为星下点的行号和列号。对上述投影曲线上的每一点都进行式(20)——(23)的转换,就得到了地球边线在云图上的位置。

3 卫星云图上地球边线的检测和定位的自动校准

由于云图上地球椭圆盘上的温度值与背景温度值有明显的差别,只需设置一个灰度门限值。灰度值高于此值的为背景,低于此值的为地球椭圆盘,就可以确定出云图上的地球边线。记地球边线的开始行号为 l_{bR} , 终止行号为 l_{eR} , 起始列号为 C_{bR} , 终止列号为 C_{eR} , 并且记上节中计算出的地球边线在云图上的开始行号为 l_{bC} , 终止行号为 l_{eC} , 起始列号为 C_{bC} , 终止列号为 C_{eC} (如图2所示)。则可确定出实际云图中地球椭圆盘与计算得到的地球椭圆盘在纵向(l 方向)的比

$$k_Z = (l_{eR} - l_{bR+1}) / (l_{eC} - l_{bC+1}) \quad (24)$$

和横向(C 方向)的比

$$k_Y = (C_{eR} - C_{bR+1}) / (C_{eC} - C_{bC+1}) \quad (25)$$

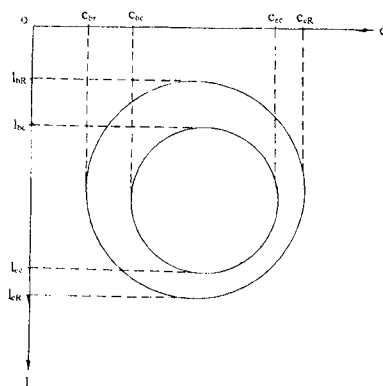


图2

用 k_Z 和 k_Y 对文献[3]中用到的 $\Delta\eta_Z$ 和 $\Delta\eta_Y$ 进行修正,得

$$\Delta\eta'_Z = \Delta\eta_Z / k_Z \quad (26)$$

$$\Delta\eta'_Y = \Delta\eta_Y / k_Y \quad (27)$$

用 $\Delta\eta'_Z, \Delta\eta'_Y$ 分别代替文献[3]中用到的 $\Delta\eta_Z$ 和 $\Delta\eta_Y$, 再用

$$l'_S = (l_{eC} + l_{bC}) / 2 \quad (28)$$

代替卫星发下来的星下点行号,用

$$C'_S = (C_{eC} + C_{bC}) / 2 \quad (29)$$

代替卫星发下来的星下点列号,用文献[3]中所述的方法进行定位计算,就得到了准确的定位结果。

本文所述方法已在实际系统中使用,经过实践检验,得到了预期效果。

参考文献

- 1 H. A. 乌尔马耶夫. 数学制图学. 北京: 测绘出版社, 1956.
- 2 中科院大气所. 卫星云图的接收和分析. 北京: 科学出版社, 1971年.
- 3 李凤昌. 数字展览地球同步卫星扫描云图的定位. 气象, 1992, 18(6).

Adaptive Calibration of the Location of the GMS Scanned Images

Li Fengchang

(Air Force Institute of Meteorology, Nanjing 211101)

Abstract

In the location of the GMS scanned images, a deviation appears at times for a variety of reasons. An adaptive calibration method eliminating the deviation is given.

Key Words: satellite images location adaptive calibration