

试用 GMS 卫星多通道资料反演海表温度

刘 文

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

从 S-VISSR 图像定位和数据定标出发, 参考极轨气象卫星多窗区 MCSST 技术, 对 25° — 45° N、 117.5° — 140° E 区域 GMS-5 卫星海表 SST 反演作了尝试, 探讨了静止气象卫星多通道资料反演 SST 的方法。

关键词: GMS 资料 红外分裂窗 MCSST 技术反演 海表温度

引 言

利用极轨气象卫星的多通道资料反演海表温度 SST 已在美国等发达国家及我国国家卫星气象中心投入业务运行。极轨气象卫星的多通道扫描及 AVHRR 辐射仪高精度、低噪声等特点, 使得海表温度可以 0.5 — 1.0 K 左右的误差反演出来。对于某一固定地区来说, 极轨气象卫星对其扫描的周期较长 (每日仅为 2 — 4 次), 加上云层覆盖影响, 极轨气象卫星实时监测海表温度具有很大的局限性。1995 年 3 月日本发射的 GMS-5 卫星, 将原来的红外单通道分裂为 IR1: 10.5 — $11.5\mu\text{m}$ 、IR2: 11.5 — $12.5\mu\text{m}$ 两个通道, 其波长与美国 NOAA 极轨气象卫星的红外通道 CH4、CH5 一致 (表略)。因此, 我们可以借鉴具有较高精度的极轨气象卫星多窗区监测海温 MCSST 方法, 利用 GMS-5 播发的可见光、红外分裂窗通道资料, 反演出具有较高时空分辨率、监测范围广、实时性强的卫星海表温度 SST。本文从 S-VISSR 图像定位和数据定标出发, 对 25° — 45° N、 117.5° — 140° E 区域内的静止气象卫星的 SST 反演作了尝试, 取得了较好的效果。

1 资料采集预处理

通过国家卫星气象中心研制的静止气象卫星中规模资料利用站 CMAPPS 系统, 接收处理日本 GMS-5 卫星播发的多通道 S-VISSR 资料, 生成卫星扫描原始图像文件。再经定位、定标处理, 获取各通道参数值。

1.1 过滤噪声

我们使用的卫星信号接收天线口径为 2.5m , 接收的图像常受干扰信号影响以致在某些像素点上出现野值, 反映在图像上就出现许多“麻点”。如果将干扰点也作为卫星计数值, 反演的海表 SST 将会有重大错误, 因此必须消除这种噪声。我们利用卫星两个红外分裂窗通道计数值有一定差别但差别不大这一特征, 采用阈值法检测这种噪声, 即将两红外计数值之差大于给定门限值 (一般可取 4K) 的点作为噪声点, 再用周围几点的平均值代替该点的卫星计数值。

1.2 图像定位

由卫星轨道根数和姿态参数利用卫星动力学方程计算可以精确定位, 但计算比较复杂, 台站微机处理系统一般直接利用卫星播发的简化网格定位参数数据文件 (PSMB.

DAT)^[1],采用线性内插法对红外图像进行定位。事实上,由于地球曲率和卫星对地球观测角的变化,图像分辨率随经纬度呈非线性分布。因此,采用文献[2]给出的非线性曲面拟合方法,生成 25°—45°N、117.5°—140°E 范围,分辨率为 0.05 度的等经纬度卫星投影图像。

卫星播发的简化网格定位参数数据文件是前一天的预报值,经上述处理后的投影图仍然存有一定误差,但这种情况较少。当偏差较大时,利用可视地标进行订正。海温监测是在海区无云的情况下进行的,此时卫星图像上的海岸线清晰可见。特别是 GMS-5 可见光云图,它的波长由 GMS-4 的 0.55—0.75 μm 扩展到 0.55—0.90 μm ,增强了对水体的透射能力,因此海水的反照率很低,而陆地反照率一般大于 20%。首先在计算机屏幕上显示迭加了海岸线的卫星投影图像,然后利用方向键上、下、左、右移动迭加的海岸线,当与卫星图像上的海陆边界吻合时海岸线图形在水平、垂直方向上的位移,即为所求的订正量。

1.3 数据定标

卫星图像文件记录的是卫星观测的计数值,红外通道资料为 8bit,对应 0—255 灰度;可见光通道为 6bit,对应 0—63 灰度。要获取地表亮温或反照率,还必须进行卫星数据的定标。我们获取的 S-VISSR 数据,其定标信息块(CMAPPS 系统中的 CALIB. DAT 文件)中含有一个动态定标表,即灰度值与亮温(或反照率)变换表。每一灰度用一个长整数表示,占 4 字节。由于它的排列与微机中整数字的排列顺序相反,使用时我们用

$$N = \sum_{i=0}^3 256^{3-i} \text{BYTE}_i \quad (1)$$

计算该整数的值。亮温 $T_B = 10^{-3} \times N$; 反照率 $ref = 10^{-6} \times N$ 。

2 建立模式

根据气象卫星晴空大气辐射传输方程,如果知道洋面大气温、湿廓线垂直分布及各种吸收成分对海面放射辐射的影响,就能计算出海面温度 T_s 。由于缺乏海上常规资料,目前卫星 SST 业务主要使用统计反演模式^[3]。影响海表 SST 反演精度的主要因素是海区云覆盖监测和红外大气削弱订正。多窗区 MCSST 技术对卫星红外温度进行大气削弱订正的基本依据是光谱在不同大气窗区具有不同的吸收,从而比单通道 SST 反演有较高的精度。目前美国 NOAA/NESDIS 全球业务海面温度计算系统采用极轨气象卫星的多通道资料,运用该技术反演的海表 SST 已有相当的精度,其平均误差在 0.5K 左右。由于大范围海表温度资料很难获得,试验中采用 NOAA 极轨气象卫星资料,运用 MCSST 反演技术,由国家卫星气象中心研制的极轨气象卫星资料接收处理系统计算的晴空 SST 反演值作为海表实际温度。然后将其与 GMS-5 红外分裂窗通道资料建立相关方程。

2.1 选取样本

极轨气象卫星业务计算运用的海表温度与卫星多通道亮温的线性回归方程具有如下形式^[4](以 NOAA-12 为例):

$$\begin{aligned} SST = & 1.0246T_4 + 2.4521(T_4 - T_5) \\ & + 0.6408(T_4 - T_5)(\sec\theta - 1) - 280.68 \end{aligned} \quad (2)$$

其中, T_4 、 T_5 为 NOAA 卫星 AVHRR 以 K 为单位的第 4、5 通道的亮温值, θ 为卫星天顶角, SST 为以 $^{\circ}\text{C}$ 表示的卫星海表温度。由此式可见,当卫星天顶角较大时, $\sec\theta$ 迅速增大,反演的 SST 会有较大误差。为减少误差,选取目标区位于 NOAA 卫星星下点附近的轨道资料作为建模样本。试验时取济南接

收站处理的 1996 年 10 月 22 日、11 月 18 日、11 月 27 日、12 月 9 日 13 时 25° — 40° N、 119° — 123° E 范围、分辨率为 2km 的 NOAA 卫星定量处理的海温产品及相近时次的 GMS-5 卫星多通道资料。

2.2 模式建立

我们曾试图将 GMS-5 卫星红外分裂窗通道资料直接运用方程(2)来估测 SST, 计算结果误差很大, 且很不稳定。为了建立海温估算模式, 我们对上述资料以 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 间隔进行抽样, 并将 NOAA 卫星海温产品抽样点附近 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ 范围内存在陆地或有云污染的抽样点剔除, 共得到海区晴空点 343 个。由于 GMS-5 卫星红外通道在 0 — 35°C 范围内的测值精度为 0.45°C (单位计数值的平均亮温差), 使下垫面亮温呈不连续分布。为消除这一影响及仪器不稳定带来的误差, 将晴空抽样点 GMS-5 卫星红外通道测值用其附近 3×3 点阵内的平均值代替。参照 NOAA 卫星 SST 的反演方程(2)的形式, 通过回归计算, 得到无云条件下 SST 与 GMS-5 卫星两红外分裂窗通道亮温 T_1 、 T_2 的线性回归方程:

$$\begin{aligned} SST = & 1.01935T_1 + 2.35809(T_1 - T_2) \\ & + 0.656634(T_1 - T_2)(\sec\theta - 1) - 274.771 \end{aligned} \quad (3)$$

这里, T_1 、 T_2 以 K 为单位, θ 为卫星天顶角, SST 为以 $^{\circ}\text{C}$ 表示的卫星海表温度。总样本数 $N = 343$, 相关系数 $r = 0.96$, 标准差 $S = 0.93$, $F = 1814$ 。计算误差在 0.5°C 、 1.0°C 、 1.5°C 、 2.0°C 以内的分别占样本总数的 75%、91%、95%、98.8%, 仅有 1.2% 的样本绝对误差在 2.0°C 以上。显著性检验信度大于 0.001, 说明此方程反演 SST 具有较高的精度。

3 SST 反演

3.1 几个数据文件的生成

在 SST 反演中, 为了简化计算, 首先处理生成了以下几个数据文件。

3.1.1 0.05 度海陆标志文件 (SEALAN5.DAT)

国家卫星气象中心研制的极轨气象卫星资料接收处理系统中, 定量产品处理的海岸线文件 C55SRR.DAT 记录了 10° — 50° N、 105° — 150° E 范围, 具有较高精度的海岸线地理坐标。采用 VGA640 $\times$ 480 显示模式在计算机屏幕上显示出 25° — 45° N、 115° — 140° E 范围分辨率为 0.05 度的海岸线图形。利用 WINDOWS 系统画笔应用中的“填色”功能, 把海区、陆地区分别涂上不同的颜色, 再经二值化处理 (0 表示海区, 1 表示陆地), 生成 0.05 度海陆标志文件。

3.1.2 各月海温气候值文件 (SEATLM.DAT)

该文件直接由极轨气象卫星海温处理中的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 各月海温气候值文件处理生成。海区范围为 25° — 45° N、 115° — 140° E, 分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

3.1.3 卫星天顶角文件

由于静止气象卫星的星下点位置是固定的 (GMS-5 定点于 0° N、 140° E), 所以对于地球上的固定点来说, 卫星天顶角不随观测时次变化。因此可以制作一个卫星天顶角文件, 供资料处理时应用。对于 GMS-5 卫星, 我们有

$$\begin{cases} \cos\delta = \cos\varphi \cos(140 - \lambda) \\ \beta = \text{tg}^{-1} \left[\frac{\cos\delta - \frac{R}{R+H}}{\sin\delta} \right] \\ \theta = 90 - \beta \end{cases} \quad (4)$$

λ 、 φ 为给定点的地理经、纬度, θ 为卫星天顶

角, R 为地球半径, H 为卫星高度。利用上述公式, 经、纬度取 0.5° 步长, 计算生成 $25^\circ-45^\circ\text{N}$ 、 $115^\circ-140^\circ\text{E}$, 分辨率为 0.5° 的卫星天顶角文件。

3.2 海区云检测

卫星云检测主要基于海表、云的红外亮温、可见光反射率存在巨大差异以及洋面温度、可见光反射率小尺度空间视场的均匀性。我们采用以下几种方法。

3.2.1 红外粗云检验

该方法根据云顶温度与海面温度的差异, 采用阈值法检测云。对于不同地理位置其海温分布不同, 门限值也应不同, 因此我们参考各地月海温气候平均值确定其门限值。考虑到海表温度一般在月气候平均值 $\pm 7^\circ\text{C}$ 之间变化, 大气削弱订正在热带地区可达 $8-10^\circ\text{C}$, 将月海温气候平均值减去 17°C 作为阈值, 卫星亮温低于该值的点即为云。

3.2.1 可见光粗云检验

海水的可见光反射率很小, 而有云污染的象元反射率一般大于 20% 。我们取双向反射率 10% 作为可见光粗云检验的门限值, 即将反射率大于 10% 的象元作为云剔除。由于可见光的双向反射特性, 下垫面的反射率随太阳高度的变化而变化, 为了得到准确的反射率, 用以下公式进行订正:

$$R = \text{ref} / \cos(z) = \text{ref} / \sin(h) \quad (5)$$

其中, R 为订正后的反照率, ref 为灰度推算出的反照率, z 为该点天顶距, h 为太阳高度角。

3.2.3 通道均匀性检验

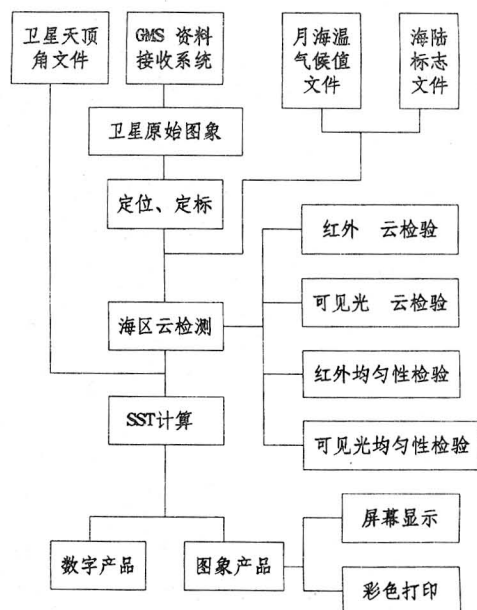
本方法基于海表的均匀性及温度场的连续性, 小范围内海表亮温及反射率变化不大, 而云的纹理特性使通道测值出现一定的不均匀性。取象元点附近 3×3 点阵中粗云检验后

的非云海区点, 求出红外通道、可见光通道的最大、最小计数值, 若某通道卫星最大、最小计数值之差大于给定阈值(一般取 3), 即可判断为云。

3.3 计算 SST

对经上述云检测处理后的晴空海区点, 将两个红外分裂窗通道计数值转换成亮温。取象元点附近 3×3 点阵的晴空象元点亮温平均值作为该象元点两红外通道亮温估计值 T_1 、 T_2 , 用公式(3)进行大气削弱订正得到该点的 SST 值。

GMS-5 卫星反演 SST 工作流程见附图。



附图 GMS 卫星反演海温流程图

4 产品输出

4.1 数字产品

打印输出带有海陆标志的给定区域数字化海温 SST 值。为输出方便, 我们用 ASCII 字符代替 SST 数字, 以便减小打印宽度, 用户使用也一目了然。字符“*”代表陆地, 空格

代表有云区,字符“0—9”代表温度 0—9℃,“A—Z”代表温度 10—35℃。

4.2 图像产品

采用 VGA640×480 分辨率 256 色显示模式,显示带有海陆标志的卫星海温图像。绿色代表陆地,白色代表云区,其它颜色分别代表温度 0—35℃海温值。也可利用 WIN-DOWS 画笔功能将图像在彩色打印机上输出。

5 结语

5.1 利用时空分辨率较高的静止气象卫星多通道资料可反演出精度较高、实时性强的大范围海表温度场。与极轨气象卫星 SST 产品相比,偏差在 1℃以内的占 91%,仅有 1.2%偏差在 2℃以上。每日多时相海表 SST 场合成,可以消除云覆盖对 SST 反演的局限性,继而得到每日、旬、月海表 SST 平均分布场。与极轨气象卫星相比,具有一定的优越性。

5.2 比较 NOAA、GMS-5 反演 SST 的方程(2)、(3),可以发现两者多通道反演 SST 具有相似的回归系数,在一定程度上说明了本方法的可行性。但 GMS-5 卫星红外通道亮温值比 NOAA 卫星平均偏低 4℃左右。

5.3 采用 3.2 所述云检测方法,基本消除了海区内的云污染,反演的海温场是均匀连续的,说明此方法是一种简便可行的云检测方法。

参考文献

- 1 国家卫星气象中心. 静止气象卫星中规模资料利用站软件系统用户手册,1995.
- 2 刘文. 静止气象卫星资料精处理方法研究. 山东气象, 1997;17(2).
- 3 郑新江,范天锡. 我国海洋渔业遥感现状和设想. 气象卫星遥感技术为农业服务应用研讨会文集,1996年.
- 4 国家卫星气象中心. 极轨气象卫星资料接收处理系统用户手册,1993.
- 5 许健民等译. 气象卫星-系统资料及其在环境中的应用. 北京:气象出版社,1994.

Inversion of Sea Surface Temperature with GMS Multichannel Data

Liu Wen

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031)

Abstract

Inversion of sea surface temperature (SST) with geostationary meteorological satellite (GMS) data has always been based on single infrared channel data. The wavelength of Japan GMS-5 infrared division window channel and of NOAA polar-orbiting weather satellite infrared channel show no difference. Beginning with the S-VISSR image position and data calibration and referring to multichannel SST (MCSST) technology of polar-orbiting satellite, the inversion of SST in 117.5°—140°E and 25°—45°N area is tried according to the GMS-5 data. Methods of inversion SST with GMS multichannel data are discussed.

Key Words: GMS data infrared division window MCSST technology inversion SST