

用 NOAA 卫星 AVHRR 多通道数据 确定地表类型

邱康睦 吴 晓 周嗣松

(国家气象局卫星气象中心)

提 要

本文介绍一种根据 NOAA 卫星 AVHRR 多光谱通道数据在三维数据空间 τ_1 - τ_2 - τ_3 的分布特性确定观测点下垫面类型的方法。下垫面类型分为云、植被、冰/雪、裸土、水五类,分类范围在 10° - 60°N 、 75° - 150°E 。从处理的结果与实时卫星云图对照来看,该方法是十分有效的。

一、前 言

地—气系统辐射收支的重要参量之一是短波反射率,NOAA 卫星扫描辐射仪有两个通道遥测地气在 0.56 - $0.68\mu\text{m}$ 和 0.725 - $1.1\mu\text{m}$ 波段的反射太阳辐射。美国 NOAA 大气科学研究与应用部门的 V. R. Taylor 等,经过几年的努力,研制出一套用 AVHRR 通道 1、2 数据计算地球行星反射率的理论模式。为了今后采用 V. R. Taylor 的短波反射率模式,试求 10° - 60°N 、 75° - 150°E 范围内的短波反射,首先要确定计算点的下垫面类型。本文借鉴 NOAA 卫星研究室 Irwin 和 Ruff 等人的工作,用 AVHRR 多通道数据判别我国范围内各种下垫面类型。通过半年时间的卫星数据收集,再与实时云图对比分析,建立了一个完善的用 AVHRR 五个通道测值判定测点地表类型的计算程序,目前,该软件已稳定运行。

二、基本方法

1. 主要参量

用 AVHRR 多通道资料确定观测点的下垫面类型,主要是根据测值在三维数据空间 τ_1 - τ_2 - τ_3 (τ_1 、 τ_2 、 τ_3 分别表示通道 1、通道 2、通道 3 的反射率)中的分布特性来确定的。对于每一个测点,通道 1、2 波段的反射率值可由下式求出。

$$\tau_1 = (a_1 I_1 + b_1) / \cos \rho \quad (1)$$

$$\tau_2 = (a_2 I_2 + b_2) / \cos \rho \quad (2)$$

式中 a_1, b_1 为通道 1 的定标系数, a_2, b_2 为通道 2 的定标系数, I_1, I_2 分别为辐射仪的通道 1、通道 2 的计数值, ρ 为太阳天顶角。

通道 3 波段的数据, 既包括了太阳反射光, 又包括了地物红外辐射值, 所以计算比较复杂, 详述如下:

在白天, 通道 3 辐射仪接收到的辐射能量包括地表及大气在 $3.7\mu\text{m}$ 波段的放射能量和地气对太阳光的反射, 粗略说来, 中红外波段可以忽略大气分子、粒子在该波长上的吸收、散射, 并假定下垫面的发射、反射均为各向同性, 到达卫星仪器的辐射能量可以表示为:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda = \varepsilon_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda + r_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos \rho \cdot s(\lambda)}{\pi} f(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

其中 T_3 为通道 3 的等效黑体亮度温度, $p(T_3, \lambda)$ 为普朗克函数 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr}$), T 为观测点下垫面的温度值, 计算中以通道 4 的亮温值代替, $p(T, \lambda)$ 为普朗克函数, r_3 为测点下垫面在 $3.55-3.93\mu\text{m}$ 波段上的平均反射率, ε_3 为测点下垫面在 $3.55-3.93\mu\text{m}$ 波段上的平均比辐射率, ρ 为太阳天顶角, $s(\lambda)$ 为太阳光谱辐照度 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$), $f(\lambda)$ 为通道 3 辐射仪的光谱响应函数。

若忽略地表透过率, 则有

$$\varepsilon_3 + r_3 = 1 \quad (4)$$

由(3)、(4)得:

$$r_3 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda}{\cos \rho \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{s(\lambda) f(\lambda)}{\pi} d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

明显地, 在无太阳照射时, r_3 不能求。同样, 当 $\cos \rho \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{s(\lambda)}{\pi} f(\lambda) d(\lambda) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d(\lambda)$ 时, r_3 也不能求, 即:

$$\rho_{\text{lim}} = \arccos \left[\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{s(\lambda) f(\lambda)}{\pi} d\lambda} \right]$$

$\rho > \rho_{\text{lim}}$, 即当太阳天顶角接近 90° 时, 入射的太阳能量很小, 经由大气到达地表、被地表反射再经大气到达大气顶而被卫星观测到的能量就更小了; 当下垫面各向异性反射而卫星又处于反射较弱的方向时, 所测得的反射能量很弱, 有时可能为零; 另外, 某些地物在 $0.37\mu\text{m}$ 波段的比辐射率小于红外长窗区 ($10.0-12.5\mu\text{m}$) 波段的比辐射率, 这时, 通道 4 测得的亮温值 (T) 大于通道 3 测得的亮温值 (T_3)。为了求出上述情况下的 r_3 , 在(3)式中, 令 $r_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\cos \rho s(\lambda)}{\pi} f(\lambda) d(\lambda) = 0$, (3)式变为:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda = \varepsilon_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda$$

$$r_3 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d(\lambda) - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

可以看出,在基本方程式(3)中,由于忽略大气的吸收,散射过程以及假定下垫面各向同性,都使得 r_3 的计算值较为粗略。

2. 坐标变换

令:

$$\begin{cases} x = \frac{r_1}{r_1 + r_2 + r_3} \\ y = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + r_3} \\ z = \frac{r_3}{r_1 + r_2 + r_3} \end{cases} \quad (7)$$

三个通道的平均的反射率 $\bar{r} = (r_1 + r_2 + r_3)/3$ 。由于 $x + y + z \leq 1$ 且 $x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$, 在 $x-y$ 平面上,对于任一点 (x, y) 有与中心点 $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ 的距离 d :

$$d = \sqrt{(x - \frac{1}{3})^2 + (y - \frac{1}{3})^2} \quad (8)$$

以及线段 $((\frac{1}{3}, \frac{1}{3}), (\frac{1}{3}, 0))$ 与 d 之间沿顺时针方向的夹角 α (如图 1)。

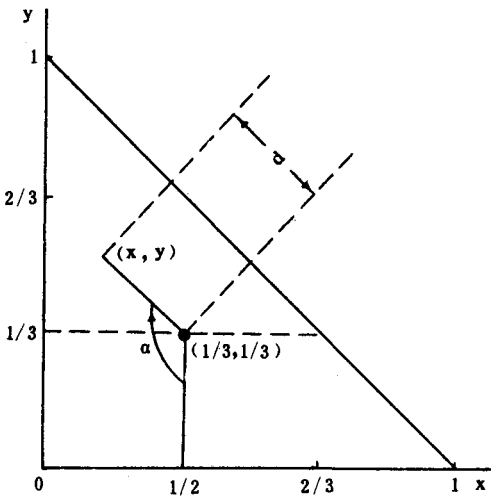


图 1 x, y 与 α, d 的转换关系

为了便于不同 α 角度上的 d 值直接比较,设 $D = d(\alpha)/d_{\max}(\alpha)$, $d_{\max}(\alpha)$ 为 α 角上能达到的最大 d 值,同时设平均反射率 \bar{r} 为正交于 $x-y$ 平面的第三轴,这样以 $D-\alpha-\bar{r}$ 为基本坐标的坐标系就代替了直角坐标系 $x-y-z$ 。对于每一个测点,将由它在 $D-\alpha-\bar{r}$ 中的位置来确定其类型。

一个完全均质的下垫面测点,它们的反射特性是相同的。在太阳天顶角、卫星天顶角近似一致条件下,它们的 r_1, r_2, r_3 测值是相同的,因此在 $D-\alpha-\bar{r}$ 上集中为一点,但是自然表面,总是存在着不同程度的变化,在 $D-\alpha-\bar{r}$ 中是离散的。对于任何均质表面,可以认为它们三个通道的反射率值的变化都是呈正态分布的,在 $D-\alpha-\bar{r}$ 中是一个椭球体,在二维坐标中则表示一个椭圆,例如选择概率为 0.95 的椭圆来代表某种类型的表面,椭圆的大小代表了所选表面的均质程度。然而对于同一类型的下垫面,由于太阳入射方向,卫星观测方位的不同以及在本文中规定的某类下垫面所包括的不同自然类属,不同植被、不同生长期对阳光的反射不同,都造成了 r_1, r_2, r_3 的变化,其实际分布特征还要复杂得多,因此,不可能对于某类下垫面建立一个椭圆。但是,对于不同类型的下垫面,由于它们的反射率在数量上的不同以及在通道 1、通道 2、通道 3 三个波段上各自不同的反射关系,使得它们在 $D-\alpha-\bar{r}$ 上呈现各自集中的分布区域,坐标变换的效果便在于此。利用这些不同的分布区域,便可将各种下垫面区分出来。

三、抽样结果

借助于通道 1、通道 2、通道 4 的卫星云图和一张中国土地资料利用现状图作参考,对我国范围内的各种下垫面类型进行了半年时间的数据采集、分析。由于各种均质表面在 D 坐标的取值范围大体相同,对分类作用不大。为了简便起见,采用 $\alpha-\bar{r}$ 平面上的概率椭圆来代表所选均质表面,图 2、图 3 分别描绘了陆上各种下垫面类型(冰/雪除外),海上各种

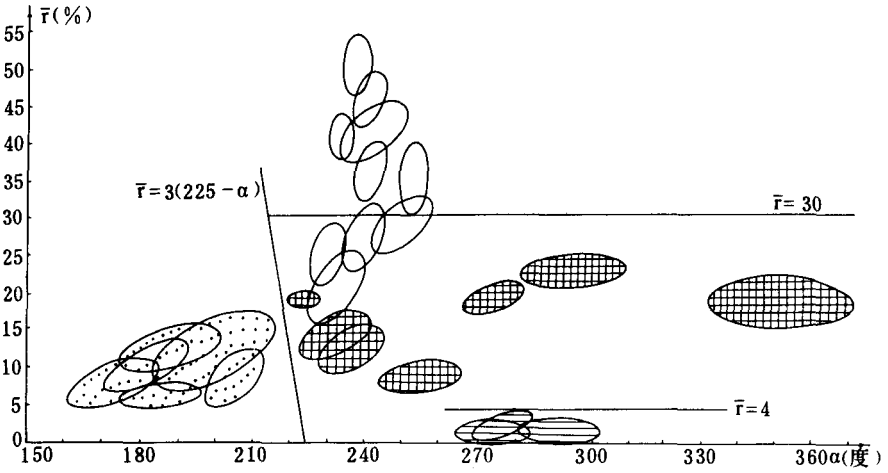


图 2 陆地上不同下垫面类型的 $\alpha-\bar{r}$ 分布

(椭圆中,圆点为植被、网格为裸土、横线为内陆湖水、空白为云;除云外,植被、裸土的平均反射率 \bar{r} 都低于 30%)

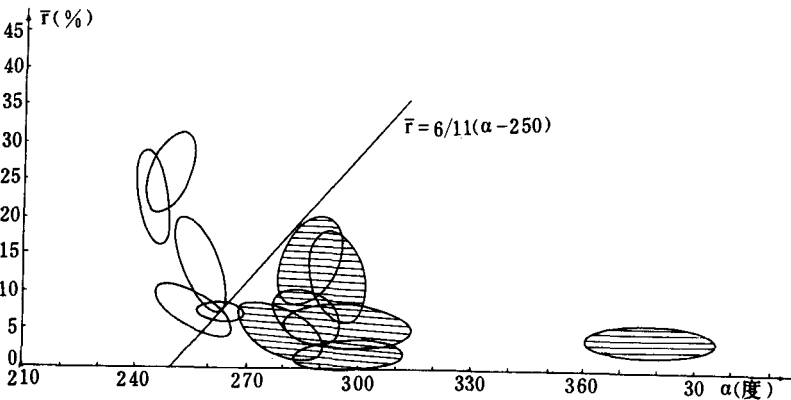


图 3 海上两种下垫面类型在 $\alpha-\bar{r}$ 上的分布

(椭圆中,横线为海水、空白为云;图中与水有部分交集的椭圆取自厚度较薄的云)

下垫面类型(海冰除外)在 $\alpha-\bar{r}$ 上的分布情况。由于冰/雪在通道 3 波段的弱反射特性,有 $r_3 < 0.01\%$,而云、植被、裸土、水的 r_3 都远大于 0.01% ,极少数的云有时也有 $r_3 < 0.01\%$,

但无论从出现的频数和数量上都很少,因此,通过 $r_3 < 0.01\%$ 可以直接地将冰/雪找出来。事实上,由于冰/雪在通道 1、2 波段上的反射和云接近,单从 $\alpha-\bar{r}$ 上的分布特性来区分云和冰/雪是比较困难的。绿色植被,由于在通道 2 波段的反射总是大于通道 1 波段,决定了它的椭圆只能分布在 $\alpha < 225^\circ$ 的区间,植物种类的不同,生长状况的不同,光照程度的不同、卫星观测方向的不同使我们获得了各种各样的椭圆,但都限制在 $\bar{r} < 25\%$ 的区域内。云,由于它在通道 3 波段的反射相对通道 1、2 要小得多,它的椭圆分布在 $225^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$,除较低的层状云和个别卷云外,大多数采样云的平均反射率 \bar{r} 都在 $> 30\%$ 的较高值区;海洋上厚度较薄的云,它们的卫星测值包含了云层下面海水的成分,其椭圆 \bar{r} 偏低, α 有可能 $> 270^\circ$ 。裸土的采样椭圆,分布在 $225^\circ < \alpha < 360^\circ + 45^\circ$, $\bar{r} \leq 30\%$ 这样一个广阔的区间,这是由于抽样是来自于裸土类的沙漠、戈壁、岩石、荒山等各种不同的自然属类,以及获取资料的时间即太阳天顶角、卫星天顶角的不同和测点的地形所造成的。水的取样椭圆,分布在 $250^\circ < \alpha < 360^\circ + 45^\circ$ 的 α 区间,对于发生镜面反射的水域, \bar{r} 高达 20% ,水质的不同,污染的程度、太阳天顶角、卫星天顶角都影响着椭圆的形状和大小。从 $\alpha-\bar{r}$ 图中可以看出,云、水、裸土是交错着的,单从 $\alpha-\bar{r}$ 的区域分界来区分势必带来误判释,为此引入海/陆标志表,这样就将水和裸土区分开来了。海上的云在图 3 分界线 $\bar{r} = \frac{6}{11}(\alpha - 250)$ 的左边,右边是海水。在陆地上,绿色植被在图 2 分界 $\bar{r} = 3x(225 - \alpha)$ 的左边,内陆湖泊在 $\bar{r} \leq 4$ 、 $\alpha \geq 250^\circ$ 的区域内。 $\bar{r} < 30\%$ 的云则根据其温度与晴空区的差异来区分开。实际软件处理中,将 $10^\circ-60^\circ\text{N}$ 、 $75^\circ-150^\circ\text{E}$ 分成了 1875 个 $1^\circ(\text{经度}) \times 2^\circ(\text{纬度})$ 的子区域,以该区域中的特殊点(植被点、 $\bar{r} \geq 30\%$ 的云点、 $\bar{r} \leq 10\%$ 的晴空点、 $r_3 < 0.01\%$ 的冰/雪覆盖点)的温度为基准,判断该经纬度区域内其它的测点是云还是裸土。

四、结束语

从软件的日处理的结果与实时云图对照来看,用上述方法确定下垫面类型,效果是比较好的。尽管在所选择参量的计算中存在着相当程度的近似,但仍能将下垫面类型准确地区分开来。这项工作为我们进一步利用 AVHRR 通道 1、2 的测值获取中国广大地区的短波反射率奠定了基础。

致谢: 本文修改过程中得到黎光清先生的指导,并提出不少宝贵意见;许健民先生对此稿进行了审阅,在此特表感谢。

参 考 文 献

- [1] Arnold Gruber and Irwin Ruff, General determination of earth surface type and cloud amount using multispectral AVHRR data, NOAA Technical Report NESDIS 39, 1988.
- [2] Arnold Gruber, Determination of earth-atmosphere radiation budget from NOAA satellite data, NOAA Technical Report NESDIS 76, 1977.
- [3] Wydick, J. E., P. A. Davis and A. Gruber, Estimation of Broadband planetary albedo from operational narrowband satellite measurements, NOAA Technical Report NESDIS 27, 1987.
- [4] Taylor, V. R. and L. L. Stowe, Revised reflectance and emission models from nimbus-7 ERB data, AMS Sixth Conference on Atmospheric Radiation, 1986.

**DETERMINATION OF THE EARTH SURFACE TYPE
BY USING THE AVHRR DATA FROM NOAA**

Qiu Kangmu Wu Xiao Zhou Sisong

(Satellite Meteorology Center, SMA)

Abstract

A method of determining the type of daylight scene viewed by each resolution element of AVHRR is presented. The specification of the scene types is restricted to five categories; cloud, vegetation, non-vegetation land, ice/snow and water. The routine processing range is 10° — 60° N, 75° — 150° E. And, the output products were compared with the satellite cloud images at the same time. The results indicate that the method is sufficiently sensitive.