

NOAA 气象卫星云检测方法的研究

周红妹 杨星卫 陆贤

(上海市气象科学研究所 上海 200030)

摘要 为了提高气象卫星资料的可用性,排除云干扰,本文根据云的时空分布变化特征,对可见光波段反射率和热红外波段温度进行分析和研究,提出了可见光反射率自动判云、热红外温度自动判云,可见光和热红外组合判云以及设立云区阈值判云等一系列检测方法。并对检测出的云区采用同周期相近时相的图像资料相对变化率来反演替代云区灰度值。保证了图像连续性和客观性,取得了较好的效果。

关键词 云,自动检测,资料替补

1 引言

NOAA 气象卫星由于运行周期短、覆盖面广等优点,目前正越来越广泛地受到人们的普遍关注,并在农业估产、林火监测、渔况预报、城市热岛等方面发挥了巨大作用。但由于我国处于中低纬地区,受西北太平洋暖湿气流影响,气候潮湿,很少有万里无云的晴空天气,这就大大限制了 NOAA 卫星图像数据的使用效率。为了提高气象卫星 AVHRR 资料的可用性,排除云的干扰,本文提出几种行之有效的云检测方法,并对剔除的云区较客观地进行修复,取得了令人满意的效果。

2 云检测

由于云是不稳定因子,它随时间和空间进行变化,即不同季节云的反射率和亮温不同,不同空间高度云的反射率和亮温又有所不同。因此,要能较好地识别云区范围就要了解它的空间和时间分布特性,并采用行之有效的方法来解决这个难题。

2.1 云检测基本思想

鉴于不同的云相对于植被、土壤、水域等不同下垫面在可见光和近红外波段具有较高的反射率,而在热红外波段具有较低的亮温,这就给我们判云带来了有利条件。

为了能达到自动判云的目的,首先我们对云区敏感的 NOAA 卫星可见光通道进行分析^[1]。我们选用了 NOAA11、12 的 20°S, 50°N, 75°E, 130°W 范围内不同季节 13 个时相的 AVHRR 图像资料作为样本,对不同下垫面以及云区的反射率特征进行统计分析(统计结果见表 1),并经过对几十幅图像资料进行验证,结果发现下垫面介质不同则反射

收稿日期: 1994 年 6 月 1 日;收到修改稿日期: 1994 年 9 月 16 日

表 1 NOAA 卫星可见光波段反射率统计实验结果

Table 1 Statistic result of reflectance in visible band of NOAA satellite

卫星名称	日期	反 射 率			
		最小 (min)	最大 (max)	差值	云检测最佳阈值 (实验结果)
NOAA 11	1992年 9 月12日	3.54	88.98	85.44	16
	10月24日	5.12	57.48	52.36	16
	10月26日	6.42	61.14	54.72	23
	11月 2 日	6.69	51.18	44.49	23
	12月 6 日	3.94	68.50	64.56	16
	1993年12月 4 日	4.33	43.31	38.98	15
NOAA 12	1992年 7 月23日	3.94	99.21	95.27	20
	8 月21日	3.94	57.87	53.93	16
	10月25日	5.12	65.75	60.63	16
	1993年 6 月16日	2.76	78.74	75.98	16
	9 月 3 日	3.15	60.24	57.09	16
	9 月17日	2.36	55.12	52.76	15
	9 月27日	2.76	62.60	59.84	15

率不同^[2],而不同下垫面受高云或对流云顶的影响,反射率亦不同。在短波波段内,绿色植被的反射率低于纯水,而携带泥沙、海藻、叶绿素、黄色物质的浑水反射率又大于纯水,反射率最高的是土壤和城镇,一般不超过 16%。这是因为自然界中的土壤、城镇等高反射率介质或多或少都受到自然条件如水份、植被、大气等外界因素影响,使其反射率有所降低,但整个下垫面如受到高云、冷云或对流云顶的影响,则其反射率会有所提高。另外天气气候状况对下垫面或云区也有所影响,如天气晴朗则反射率高,阴天或多云则反射率低。夏季反射率高,冬季反射率低。根据上述情况我们经过反复试验和分析,找出了可见光通道绿色植被的最小反射率与云区最高反射率之间的相对关系和特征,达到了可见光

表 2 NOAA 卫星可见光波段反射率判云阈值关系表

Table 2 Relation table of reflectance of NOAA satellite and threshold of cloud-detection

反 射 率		
最小值 (min)	最大值 (max)	阈 值
<3	≤65	15
	65 < max ≤ 90	16
	>90	18
3 ≤ min < 6	≤45	15
	45 < max ≤ 90	16
	>90	20
≥6	≤70	23
	>70	24

自动云检测的目的,取得了满意的效果^[9]。可见光通道判云反射率阈值关系见表 2。

其次云在热红外波段也有较灵敏的反应。我们分别选取 NOAA11、12 卫星不同季节的 12 个时相图像资料进行分析,发现云在 4 和 5 通道具有相同的规律。对我国南方而言,夏季云的热红外温度阈值较高,一般在 10℃ 以下为云;春季和秋季温度阈值偏低,一般在 5℃ 以下为云;冬季温度阈值较低,一般在 0℃ 以下为云。而不同地区相应季节的判云温度阈值又有所不同,如我国北方与南方比较,它的温度阈值就要低得多。因此,为了能较好地检测薄云和低云,根据对多个时相资料的检测结果,我们一般采用比当地相应季节地面或海面的最低气温低 1℃ 到 2℃ 作为阈值,取得了较好的效果。

2.2 云检测方法

为了能适应云区的时空分布变化特征,我们采用以下几种方法来检测云。

(1) 单通道探测值阈值检测

任取 NOAA 气象卫星的某一通道图像资料,并给定一个云区灰度阈值,凡高于该阈值的像元皆为云。

(2) 可见光和近红外通道反射率阈值检测

计算可见光和近红外通道图像的反射率,给定反射率阈值,凡高于该阈值的为云。

(3) 红外通道温度阈值检测

运用普朗克公式计算红外通道的亮温和温度,设立温度阈值,凡低于该阈值的为云。

(4) 可见光通道自动云检测

根据云的时空分布特征,采用计算机自动判别方法对可见光通道的反射率进行分析,并分别选取不同判云阈值进行检测,达到了自动判云的目的。

(5) 热红外通道自动云检测

根据不同地区不同季节云的温度情况,通过计算机自动判别云区。

(6) 可见光和热红外通道组合自动判云

热红外通道主要对温度敏感,但它对低云和薄云反映不灵敏,因为低云和薄云的温度有时几乎和下垫面的温度相等,而在可见光波段低云和薄云却能清晰地表现出来。因此,考虑到可见光波段和热红外波段的互补性,我们将可见光反射率和热红外温度结合起来自动判云。

3 云剔除

为了提高 AVHRR 资料的可用性,除了检测出图像中的云区范围外还须对云区部分进行剔除和修复。通过对大量资料进行统计分析,我们发现 NOAA 卫星同周期相近时相之间的 AVHRR 资料相对变化率很小。因此,考虑到资料的客观性和图像的连续性,对于检测出的云区我们采用了同周期相近时相 AVHRR 资料的相对变化率来反演替代云区。其方法如下。

3.1 图像配准

为了能使替补图像准确地替补到有云的原始图像上去,首先必须对两幅图像进行几

何精纠正。几何精纠正的主要思想是利用地面控制点 GCP(ground control point) 数据对原始卫星图像的几何畸变过程进行数学模拟, 建立原始图像空间与校正图像空间的某种对应关系, 然后利用这种关系将畸变图像空间中的元素变换到校正图像空间上去。在此我们提出和采用了二元多项式求伪逆的数学方法来实现气象卫星遥感图像的配准, 并推出带修正的邻域法来实现遥感图像的重采样^[4]。

校正图像空间 $f(x, y)$ 与原始图像空间 $F(u, v)$ 的映像关系:

$$F = (H^T H)^{-1} H^T f \quad (1)$$

$$\text{令} \quad H^+ = (H^T H)^{-1} H^T$$

$$\text{则} \quad F = H^+ f$$

其中, H, H^+ 为变换矩阵, H^T 为 H 的转置矩阵。

校正图像空间与原始图像空间共轭点函数关系:

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 \\ v &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{即} \quad (u, v) = [H^+](x, y) \quad (3)$$

$$H^+ \propto \{a_i, b_i | i = 0, 1, \dots, 5\}$$

在运用以上方法进行配准时为了能得到清晰的特征控制点, 我们根据 NOAA 卫星频谱特性, 利用红外波段内城镇与农村的反射率有一定差异, 将近红外波段和中红外波段组合增强, 从而突出了特征点信息。另外, 我们对图像的重采样采用了邻域加权、均值计算等方法, 从而保证了图像的连续性, 改善了方格子效应。经以上方法配准的图像误差在一个像元之内。

3.2 云剔除

对于云区的剔除我们采用了同一周期相近时相的 AVHRR 晴空资料相对变化率反演替代云区。资料替补方法如下:

设有云的原始图像为 X , 替补图像为 Y 。

$$\text{令} \quad f_i = \frac{x_i - \bar{x}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{m} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$F_i = \frac{y_i - \bar{y}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

m (不包括云区), n 分别为原始图像和替补图像像元个数。则

无云区域像元值为: $x_i = f_i * (x_{\max} - x_{\min}) + \bar{x}$

有云区域像元值为: $x_i = F_i * (x_{\max} - x_{\min}) + \bar{x}$

其中 $x_i, y_i, x_{\max}, y_{\max}, x_{\min}, y_{\min}$ 分别为原始图像和替补图像像元值、像元最大值和最小值。

4 应用分析

为了检验和分析云检测和云剔除的应用效果, 我们对 NOAA 气象卫星不同年份不

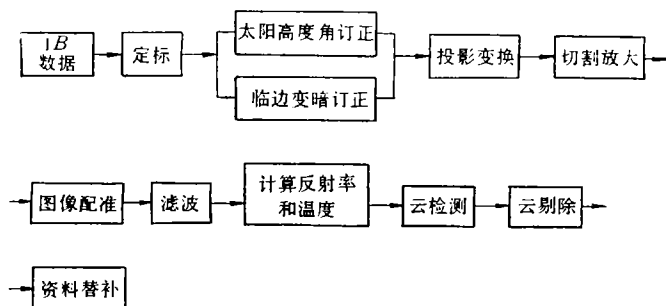


图 1 云检测和剔除步骤图

Fig. 1 The process of cloud-detecting and cloud-removing

同季节的 25 个时相 AVHRR 图像资料进行了云检测和云剔除,步骤如图 1。

图版 I 图 2 是 1993 年 9 月 27 日 NOAA12 气象卫星经定标和订正的麦卡托投影合成图像,经滤波消除了噪声引起的干扰点。接着我们对该图像计算反射率和温度,并分别采用第二节云检测方法中(4)、(5)、(6) 3 种方法进行云检测。检测结果见图版 I 图 3、图 4,图 3 中 (a)、(c) 为可见光 (CH1) 和热红外 (CH4) 原始图像, (b), (d) 为反射率自动云检测和温度自动云检测结果;图 4 为两通道组合自动判云结果,其中绿色部分为低云,桔红色部分为薄云,黄色部分为中高云,显然采用(6)方法能弥补热红外通道在对低云、薄云判别时的局限性,增加可见光通道判云的可靠性,效果较好。

图版 I 图 5 是 1992 年 11 月 2 日 NOAA11 AVHRR 图像。其中(a)是可见光原始图像,(b)是采用反射率自动云检测方法检测出的云区,(c)是反演替补后的图像,(d)是配准后的 1992 年 10 月 31 日 NOAA11 替补图像。

实践证明,以上经云检测和替补后的 AVHRR 图像,能客观反映下垫面真实情况,符合 NOAA 气象卫星 AVHRR 资料的可用性和客观性,从而为利用气象卫星作动态监测奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] Bréon, F. m., An analytical model for the cloud-free atmosphere/ocean system reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 1993, **43**(2):179—192.
- [2] Gallaudet T. G., Simpson J. J. Automated cloud screening of AVHRR imagery using split-and-merge clustering. *Remote Sensing of Environment*, 1991,**38**(2):77—121.
- [3] 刘玉洁,袁秀卿,张红. 用气象卫星资料监测积雪. *环境遥感*,1992,**7**(1).
- [4] 周红妹,杨星卫,陆贤. 气象卫星小范围区域遥感图像的配准方法的探讨. *遥感技术与应用*,1994,**9**(1).

Study on Detecting Cloud of NOAA Satellite Image

Zhou Hongmei Yang Xinwei Lu Xian

(*Shanghai Meteorological Institute*)

Abstract Cloud removing is a key to expand application of meteorological satellite data. This paper analyses the cloud reflectance in visible band and temperature in thermal infrared band from their time and spatial distribution. It also puts forward to a serial of detecting cloud methods, including automatic detection using reflectance of visible band and using temperature of thermal infrared band, detection using the combination of them and using the threshold of cloudy region. For cloudy region, the pixel values are substituted by the image data of same cycle and near time after being calculated according their correlation with data of cloudy image. The images have better effect in continuity and reality through above processing.

Key words Cloud, Automatic detection, Data substitution