

应用气象卫星识别薄云覆盖下的水体

盛永伟 肖乾广

(国家气象局卫星气象中心 北京 100081)

摘要 本文根据地物光谱特性和卫星的信号接收原理,提出了一种利用气象卫星识别水体的简单而有效的方法,使得薄云覆盖下的水体和云影中的水体得到较好的识别效果。在洪水监测中使用该方法,可以充分利用气象卫星数据获取丰富的洪水动态信息,并以1991年江淮洪涝灾害为背景,对试验结果进行了分析。

关键词 气象卫星,云干扰,水体识别,洪水监测

1 前言

在应用可见光—红外遥感手段进行洪涝灾害监测中,首当其冲的困难就是云的干扰。洪涝灾害往往都是大量降雨的结果。洪水期间,受灾区(尤其是我国南方)天气状况极其恶劣、阴雨连绵,完全的晴空是很难得的。例如1991年江淮洪涝灾害期间,竟出现了连续二十余天无晴天的局面,这就为气象卫星监测洪涝灾害造成了一定困难。在整个洪水期(指1991年江淮洪涝灾害)的二个月的时间里,在淮河流域重灾区,Landsat卫星没有获得一张可利用的图像,虽然气象卫星在该地区过境上百次,但也只获得了8张有价值的图像,其中5张都不同程度地受到云的干扰,如果不消除云的干扰,就不能识别被云干扰的水体,就会失去宝贵的数据,不利于洪水动态信息的正确揭示。可见,云干扰的研究在洪涝灾害遥感监测中是不可回避的。

利用气象卫星监测洪涝灾害国内外都开展了不少研究和应用,研究方法也不断深入。曹述互等利用三通道彩色合成图像目视解译分析洪水变化动态^[1],侯常恭等利用二通道图像进行计算机处理提取了涝灾信息^[2],肖乾广等利用通道二和通道一的差值图像识别洪水取得了很好的效果并精确地计算了洪水面积^[3]。Barton I. J. 等利用通道四提取的亮度温度来识别水体并对洪水进行了昼夜监测^[4]。以上这些方法都要求无云的图像,都将云的干扰视为禁区,只能监测晴朗天气情况下的洪水变化。关于有云干扰情况下利用气象卫星监测洪水的研究尚未见报道。然而在洪水期间,云的干扰是很普遍的,非常有必要开展这方面的工作。

当然,当云层很厚时,由于可见光—红外遥感手段本身的缺陷,传感器不能接收到来自地表的信息,遥感数据中只含有云的信息,这时任何处理方法都不可能消除云的干扰,获得地表洪水信息。然而,当云层较薄时,虽然云的干扰依然很严重,但也会有部分地表信息透过云层被传感器接收,而且水体和陆地的光谱特性相差甚大,采用特殊的处理方

收稿日期,1994年1月31日;收到修改稿日期:1994年5月24日。

法增强这种差异,有可能识别薄云覆盖下的水体。本文针对这种情况进行研究。

本次工作以 1991 年江淮特大洪涝灾害为背景,工作区选在淮河流域重灾区。这次洪水泛滥的主要原因是连续的超常降雨以及地面防洪设施标准不高排水不畅造成的,在 5 月 19 日—7 月 13 日的洪水期间,主要有二个降雨时段: 5 月 19 日—6 月 20 日和 6 月 29 日—7 月 13 日。在这二次降雨过程的中间,以及降雨过后的一段时间内,局部地区出现了几次晴空,但整幅图像中云的干扰仍很严重,本文着重分析的 7 月 18 日 NOAA-11 图像中有相当一部分地区笼罩在薄云之中,为这次工作提供了一个很好的例子。

2 气象卫星图像中云的检测

为了有效地消除云的干扰以及分析云干扰的消除效果,首先要进行云的干扰区识别,即云和云影检测。

2.1 云检测

利用气象卫星 AVHRR 图像进行云检测的算法很多,这里主要参考了 Saunders 的 SCV (Spatial Coherence Visible) 算法^[5,6]。

虽然云与陆地、海洋的光谱特征相差很大,但云千变万化,光谱特性变化极大,故需用可见光、近红外、热红外图像综合分析判断。此外,由于云顶温度空间变化大而地表温度空间变化小,故空间邻域的纹理特征可辅助云的识别,这里将纹理特征定义为热红外通道 CH_4 (10.5—11.5 μm) 的 3×3 窗口的标准方差:

$$S_4 = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 (V_i - \bar{V})^2}$$

其中, $V_i, i = 1, \dots, 9$, 为窗口中的亮温值, \bar{V} 为窗口中的亮温平均值。

这样,用 4 个条件来综合判别云¹⁾: $Con1: CH_1 > Th_1$, 可见光通道的反射率; $Con2: CH_2 > Th_2$, 近红外通道的反射率; $Con3: CH_4 < Th_3$, 热红外通道的亮温; $Con4: S_4 > Th_4$, 热红外通道的纹理特征。其中, Th_1, Th_2, Th_3 和 Th_4 为阈值,由于云的光谱特性变化极大,故人机交互确定阈值,可获得满意的结果。

利用上述条件可有效地检测出云,云区为这 4 个条件的交集,即:

$$CLOUD = \{Con1\} \cap \{Con2\} \cap \{Con3\} \cap \{Con4\}$$

2.2 云影检测

云影中的地物由于接收的太阳辐射极少,造成可见光、近红外通道的反射值变低,与晴空地物的光谱特性相差很大,云影与晴空区水体的近红外通道光谱特性相似不易区分,云影中的水体和陆地也难以区分,这是云干扰的另一种表现,也影响着洪水监测。

云影的检测基于二方面考虑,一是光谱特征,二是云影区的计算。

2.2.1 光谱特性

1) CH_1, CH_2 分别代表通道一和通道二的反射率, CH_4 代表通道四的亮温值。

在可见光和近红外图像中云影的特点是反射率极低, 这可以作为云影检测的必要条件:

$$Con1: CH_1 < Th_1, Con2: CH_2 < Th_2$$

2.2.2 云影区的计算

云影是由云的位置、高度以及太阳方位决定的, 根据云检测算法计算出的云的位置以及太阳高度角、方位角, 并估算云高度, 可计算出云影的大致区域 S , 这是云影检测的另一必要条件:

$$Con3: \in S$$

云影为上述 3 个条件的交集, 即

$$SHADOW = \{Con1\} \cap \{Con2\} \cap \{Con3\}$$

利用这种方法可较有效地完成云影检测。

3 气象卫星图像中水体的识别

在我国, 洪水期主要集中在春末到秋初这段时间, 这段时间植被茂盛, 从气象卫星的观测角度来看, 主要地物类型有 3 种: 植被、土壤、水体, 其光谱曲线见图 1^[7]。

洪水期间, 水体中泥沙含量高, 使得水体的反照率升高, 而且最大反射峰向红光波段移动, 另外土壤中水体含量较大, 使得其反射率下降, 并且在通道一和通道二下降的幅度相近, 这样洪水期间, 地物的光谱特性变得复杂, 利用单通道的数据是难以区分水体和陆地的。

由图 1 可见, 在 AVHRR 的第一通道, 植被具有低的反射率, 而湿土壤与水体的反射率相近; 在二通道, 植被和土壤等陆地地物类型具有较高的反射率, 而水体的反射率较低, 故可采用通道二与通道一的比值增强方案:

$$R = K * CH_2 / CH_1$$

其中, K 为扩大倍数。该方法可以增强水体和陆地的光谱差异, 从而将它们正确区分, 其通道一、通道二及比值图像的直方图如图 2 所示。在比值图像中, 水体的值极低, 陆地具有较高的值, 其直方图呈明显的双峰分布, 并且双峰拉得较开, 便于阈值 T_0 的选取和水体的识别^[8]:

若 $R \leq T_0$, 则该像元为水体; 若 $R > T_0$, 则该像元为陆地。

这种比值方案不仅能有效地识别晴空条件下的水体, 而且对薄云覆盖下的和云影中的水和陆也有较好的区分效果。

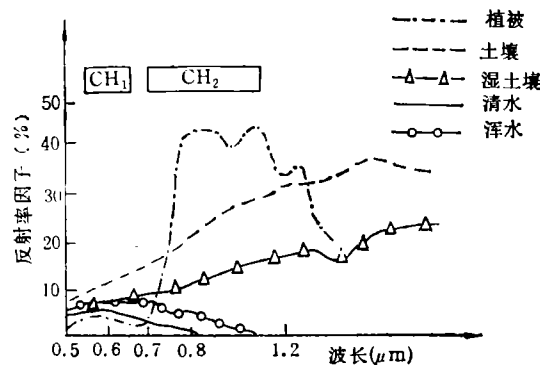


图 1 洪水监测中典型地物的光谱反射率曲线
Fig.1 1 Typical Spectral Reflectance Curve for Water and Land

3.1 云覆盖下水体的识别

在半透明云层(如:薄云)覆盖地区,卫星传感器所接收到的信息中包括来自云和云下地表的信息以及大气的程辐射(来自大气中的除云之外的物质),见图 3。

$$S_i = C_i + G_i + P_i$$

其中, i 为通道号; S_i 为第 i 通道传感器接收到的值; C_i 为第 i 通道来自云的那部分信息; G_i 为第 i 通道来自云下地表的信息; P_i 为第 i 通道大气程辐射。

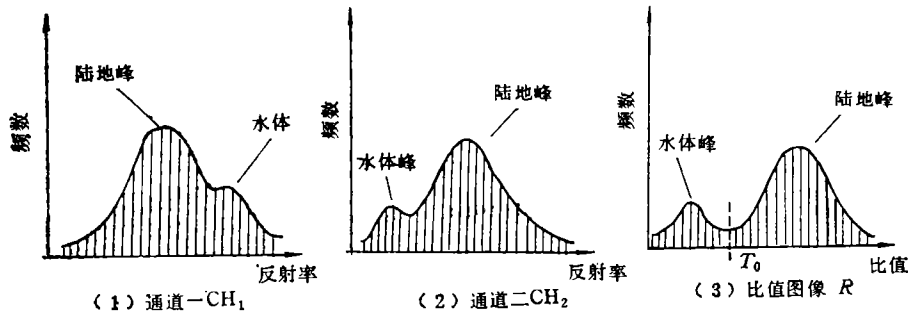


图 2 受灾区的典型直方图

Fig. 2 Histograms in Flooded Area

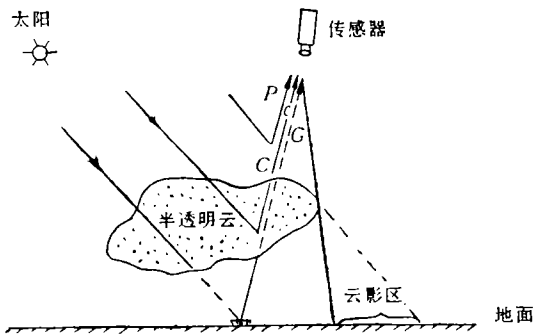


图 3 半透明云影响下传感器接收信号的组成示意图

Fig. 3 Diagram of Satellite Observation Principle

故比值图像 R :

$$R = \frac{S_2}{S_1} = \frac{C_2 + G_2 + P_2}{C_1 + G_1 + P_1}$$

对于水体,

$$R(\text{Water}) = \frac{C_2 + G_2(\text{Water}) + P_2}{C_1 + G_1(\text{Water}) + P_1}$$

对于陆地,

$$R(\text{Land}) = \frac{C_2 + G_2(\text{Land}) + P_2}{C_1 + G_1(\text{Land}) + P_1}$$

对于 AVHRR 数据来说,在一、二通道云的反射特性相似,即 C_1 和 C_2 取值相近,而程辐射的量值也较小, G_1 、 G_2 的取值对 R 有较大影响。在洪水期间,由于通道一中,水

体反射值通常高于陆地, 即 $G_1(\text{Water}) > G_1(\text{Land})$, 而通道二中陆地反射值大于水体, 即 $G_2(\text{Land}) > G_2(\text{Water})$, 故有:

$$R(\text{Land}) > R(\text{Water})$$

这说明云覆盖下水体的 R 值低, 选取适当阈值即可识别出云下的水体。

3.2 云影中水体的识别

在云影中, 由于云的阻挡, 入射能量中的直射光分量(来源于太阳的直射光)大大衰减, 造成云影中地物的反射信号减弱, 这时:

$$S_i = G_i + P_i = A_i * E_i + P_i$$

其中, A_i 为第 i 通道地物反射率; E_i 为第 i 通道地物接收到的辐照能量, 由于云层的阻碍, 该量较小。

故而比值图像 R :

$$R = \frac{S_2}{S_1} = \frac{A_2 * E_2 + P_2}{A_1 * E_1 + P_1}$$

$$\text{对于水体: } R(\text{Water}) = \frac{A_2(\text{Water}) * E_2 + P_2}{A_1(\text{Water}) * E_1 + P_1}$$

$$\text{对于陆地: } R(\text{Land}) = \frac{A_2(\text{Land}) * E_2 + P_2}{A_1(\text{Land}) * E_1 + P_1}$$

由于 $A_1(\text{Water}) > A_1(\text{Land})$ 、 $A_2(\text{Water}) < A_2(\text{Land})$, 故有:

$$R(\text{Land}) > R(\text{Water})$$

这亦说明在云影中水体的 R 值也低, 选取适当阈值即可识别出云影中的水体。

4 结果分析

为了分析云干扰消除的效果, 选取了一个 140×160 像元的窗口进行详细分析。该窗口的左下角坐标为 $(116.40^\circ, 32.25^\circ)$ 、右上角坐标为 $(118.00^\circ, 33.65^\circ)$, 位于淮河流域中的重灾区。在 1991 年 7 月 18 日的 NOAA-11 卫星图像中, 该窗口内有大量的云及云影存在, 云的干扰十分严重, 图版 I 图 4—7 中, 红线包围的区域为云覆盖区, 黄线包围的区域为云影区, 其它区域为非云干扰区。

图版 I 图 4、图 5 分别是通道一、通道二的图像, 在云区中除了白色调的个别区域以外都表现为薄云的特征, 但云下的水体也是无法识别的; 在云影区, 图像层次不分明, 其中的水体和陆地也难以分辨; 在晴空区, 水陆虽可分辨, 但并不清晰, 故而利用单通道的图像不能有效地识别水体, 对于有云干扰的情形, 更是无能为力。

图版 I 图 6 为比值图像, 在该图像中水体呈暗色调。在晴空区, 水陆边界清晰; 在云影区, 水体清晰可见; 在云覆盖区, 水体信息也可透过云层表现出来。在特制的软件系统的支持下, 采用人机交互方式动态选取阈值, 当阈值 $T_0 = 113$ 时, 整幅图像中水体的识别效果较好, 这时的窗口图像见图版 I 图 7, 其中蓝色是识别出的水体。从图中可以看到, 云干扰区中的水体与晴空区的水体衔接得很好。在 7 月 20 日的 NOAA 图像中该地

区完全晴空,所揭示的水陆分布情况与图版 I 图 7 吻合得极好。这都说明了利用本方法识别云干扰区中的水体是很成功的。

从周集(115.98°, 32.45°)到曹庵(116.98°, 32.45°)选一剖面进行剖面线分析(图 8)。该剖面线经过城西湖蓄洪区,寿县及瓦埠湖等地区,其中中间部分区域受云的干扰,反映在通道一、二及比值图像的剖面线上表现为不规则的强烈抖动,这就是云干扰的结果,从通道一、二的剖面线上可以看出利用单通道来区分水体和陆地是不可能的,而在比值图像的剖面线上水体和陆地却显示出了较大差异,并且云的干扰也受到了压抑,选取阈值 $T_0 = 113$, 则阈值线以下为水体,阈值线以上为陆地,区分的结果相当好。

在晴空区域,任意选取几点陆地和水体进行分析(表 1)。从表 1 中可以看到,比值图像增大了陆地和水体之间的差异,陆地的组内离差为 27.8,水体的组内离差为 9.9,而陆地和水体的组间距却达 142.25,使得二者很容易区分,阈值的选取也变得容易,只要 $T_0 \in [84, 179]$ 水陆就可得到正确的区分。

表 1 晴空区水陆识别分析表*

Table 1 Analysis Table of Water Identification in Cloud-free Arc

地物性质	陆地	陆地	陆地	陆地	水体	水体	水体	水体
地物位置	(115.64°, 32.79°)	(115.87°, 32.19°)	(117.51°, 32.26°)	(117.68°, 33.46°)	118.71°, 32.29°)	(117.78°, 32.99°)	(116.91°, 32.35°)	(115.81°, 32.55°)
通道一	16	14	19	14	51	37	34	32
通道二	24	31	31	24	34	18	16	17
比值图像	180	255	198	204	83	60	58	65
识别结果	陆地	陆地	陆地	陆地	水体	水体	水体	水体

* 各表中的识别结果均为阈值 $T_0 = 113$ 时的识别结果。

表 2 薄云覆盖区水陆识别分析表

Table 2 Analysis Table of Water Identification in Thin Cloud-covered Area

地物性质	陆地	陆地	陆地	陆地	水体	水体	水体	水体
地物位置	(117.31°, 32.46°)	(116.44°, 32.62°)	(116.68°, 32.82°)	(116.91°, 33.66°)	(117.21°, 32.59°)	(116.83°, 32.54°)	(117.11°, 32.70°)	(116.61°, 32.60°)
通道一	36	44	36	40	41	35	31	29
通道二	41	42	37	43	32	28	25	24
比值图像	141	119	128	134	97	99	100	102
识别结果	陆地	陆地	陆地	陆地	水体	水体	水体	水体

在薄云覆盖的情形下,水陆的区分情况(表 2)。在单独原始通道不能识别水体的情形下,比值图便仍可正确识别,但此时水陆的差异不如晴空区那样显著, $T_0 \in [103, 118]$ 范围内,才可获得正确结果。

表 3 反映了云影中的水陆区分情况,由于地物位于云影中,反射值显著降低,使得水陆差异变小,但比值图像仍可增大水陆差异,使其得到正确识别。

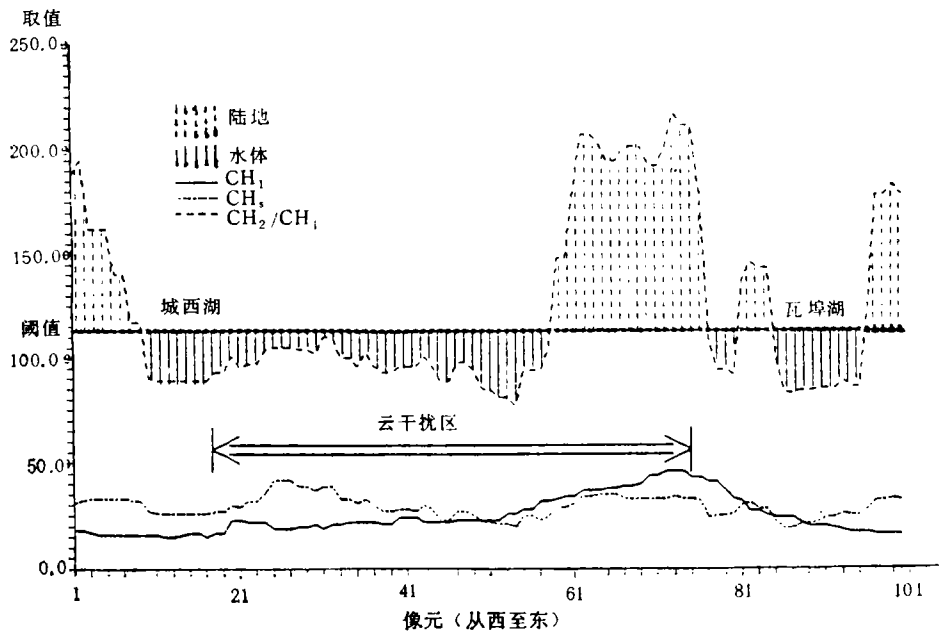


图 8 剖面线分析

Fig. 8 Profile Analysis From (115.98°,32.45°)to(116.98°,32.45°)

表 3 云影中水陆识别分析表

Table 3 Analysis Table of Water Identification in Cloud Shadow

地物性质	陆地	陆地	水体	水体
地物位置	(117.44°,33.88°)	(117.61°,32.59°)	(117.30°,33.04°)	(117.36°,33.00°)
通道一	11	9	15	14
通道二	15	14	9	11
比值图像	160	179	72	93
识别结果	陆地	陆地	水体	水体

表 4 厚云覆盖区水陆识别分析表

Table 4 Analysis Table of Water Identification in Thick Cloud-covered Area

地物性质	陆地	陆地	水体	水体
地物位置	(117.05°,32.87°)	(117.26°,33.36°)	(117.01°,32.97°)	(117.11°,32.84°)
通道一	56	48	56	58
通道二	52	49	52	52
比值图像	116	128	116	112
识别结果	陆地	陆地	陆地	水体

当云层较厚时,一、二通道的反射值很高,但其中地表信息极少,比值法也不能增大水

陆差异,会出现误分的情况(表 4)。

综上所述,本次工作中所提出的 AVHRR 数据 CH_2/CH_1 这种增强方法,不但能有效地识别晴空条件下的水体,而且对于薄云覆盖下的和云影中的水体和陆地也有较好的识别效果。对于较厚云层的情况,该方法不能有效识别水体,这是由于可到达传感器的地表信号极其微弱,这不是利用可见光—红外传感器能解决的问题。

5 结语

在利用遥感手段进行洪涝灾害监测中,“时效”这一概念极为重要,要做到准实时监测,就必须要进行快速的洪涝灾害监测及评估。这就需要有一种简单而实用的水体识别方法。本文所提出的 CH_2/CH_1 这种比值方案可以满足这一要求。该方案就是要增大水体和陆地的差异从而将二者区分。当有薄云干扰时,虽然地表信息在卫星数据中很弱,但云在通道一和通道二中有相近的干扰,这种比值方案可以压抑云的影响,在微弱的地表信息中增大水陆差异从而可将受云干扰的水体识别出来。故用这种方法不但能有效地识别晴空条件下的水体,而且对薄云覆盖下的以及云影中的水体也有较好的识别效果,在一定程度上克服了在洪水监测中可见光—红外传感器本身的缺憾。

本方法对 1991 年江淮洪涝灾害期间的多幅图像进行了处理,较好地压抑了云的干扰,充分利用了气象卫星图像,有效地反映了洪水的动态信息,从而体现出了本方法简单而又有效的特点,取得了令人较满意的效果。本方法有进一步推广应用的价值,并可以在实际应用中不断得到完善。

参 考 文 献

- [1] 曹述互等. 应用气象卫星图像监测辽河洪水,遥感信息,1987年,第3期.
- [2] 侯常恭等. 用气象卫星信息监测黑龙江省春涝. 遥感信息,1989年,第3期.
- [3] 肖乾广等. 气象卫星影像用于松花江洪水监测. 遥感信息,1987年,第4期.
- [4] Barton, I.J. and Bathols, J. M. Monitoring Floods with AVHRR, Remote Sensing of Environment. 1989, 30(1), 89—94.
- [5] Saunders, R. W. An Automated Scheme for the Removal of Cloud Contamination from AVHRR Radiances over Western Europe. Int. J. Remote Sensing, 1986,7(7), 867—886.
- [6] Saunders, R. W., Kriebel, K. T. An Improved Method for Detecting Clear Sky and Cloudy Radiances From AVHRR Data. Int. J. Remote Sensing, 1988,9(1), 123—150.
- [7] P.H. 斯韦恩. 遥感定量方法. 北京: 科学出版社,1984.
- [8] Sheng, Y. Method on Flood Monitoring Using AVHRR Data. PROCEEDINGS OF 6TH EUROPEAN AVHRR USERS' MEETING EUM P12,1993, 293—302.

Waterbody Identification in Cloud-contaminated NOAA/AVHRR Image

Sheng Yongwei Xiao Qianguang
(*National Satellite Meteorological Center*)

Abstract AVHRR data from Meteorological Satellites have potential in flood monitoring due to the high time resolution and low cost. Unfortunately, AVHRR, which is a kind of visible-infrared sensor, cannot detect land surface through cloud, and cloud-free image is quite rare during flood period due to the bad weather, so cloud contamination is one of the main obstacles in flood monitoring using AVHRR data. Based on the spectral characteristics of groundcovers and the principle of satellite observation, this paper puts forward a simple but effective method for water identification using AVHRR data, which is the ratio band of channel 2 by channel 1. By using this method, waterbody can be identified not only in cloud-free areas, but also under semitransparent cloud and in cloud shadow. This method was used successfully in the 1991 flood disaster in Huaihe river basin.

Key words Meteorological Satellite, Cloud Contamination, Water Identification, Flood Monitoring