

文章编号: 1007-4619(2007)01-0085-09

基于 NDVI 背景场的雪盖制图算法探索

梁 继^{1,3}, 张新焕², 王 建¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093;

3 国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘 要: NDSI 算法提取 MSS 雪盖面积时, 受到 MSS 影像缺少短波红外波段的局限。为充分精确提取 MSS 影像的雪盖面积, 本文探索一种以 NDVI 为背景场的雪盖制图新思路。该方法首先在辐射校正时利用 6S 模型反演地表反射率, 然后根据各地物的光谱特性差异和 NDVI 特性差异, 在 ENVI 软件 SPECTRAL 模块中创建冰雪光谱阈值查找表。通过 ETM+ 和 TM 影像的三个例证, 详细阐明该算法流程以及查找表的创建, 并以 NDSI 对其雪盖制图进行精度验证。结果一致表明, 与常规的分类方法 (最大似然法) 相比较, 本文探索的 NDVI 背景场算法有更高的总体精度和 Kappa 系数。

关键词: 光谱特性; 雪盖制图; NDSI; NDVI**中图分类号:** TP302.4/TP79 **文献标识码:** A

Exploration for the Algorithm of Snow Cover Mapping Based on NDVI Background Field

LIANG Ji^{1,3}, ZHANG Xin-huan², WANG Jian¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute Chinese Academy of Sciences Gansu Lanzhou 730000, China;

2 The Department of Urban and Resource Science Nanjing University Jiangsu Nanjing 210093, China;

3 Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration Fujian Xiamen 361005, China)

Abstract In the process of obtaining the snow cover area from MSS image with NDSI algorithm, there is a shortcoming that MSS does not have short wave infrared band which can help to distinguish high reflectance of cumulus. To improve the accuracy of obtaining the snow cover area from MSS, this paper explores a method of snow cover mapping based on NDVI background field. Firstly, the land surface reflectance image is derived through 6S model while making radiometric calibration. Then, according to the difference of spectral characteristic and the difference of NDVI characteristic of land objects, we build a Lookup Table on threshold of snow spectrum in the SPECTRAL extension of ENVI software. Through the three demonstrations of ETM+ and TM, the process of algorithm and the way to build LUT are illuminated in detail. And the accuracy of snow cover mapping of this method is tested by NDSI. The results show that the new algorithm has higher Overall accuracy and Kappa Coefficient compared with generally classified method (such as Maximum Likelihood Method).

Key words: spectral characteristic; snow cover mapping; NDSI; NDVI

1 引 言

雪是地球表面最为活跃的自然要素之一。雪盖面积是高山地区和季节雪盖区水文和气象模型的重

要输入因子。从遥感数据提取的雪盖面积是融雪径流模型的重要参数。由于大气传递函数所造成的信号衰减, 云与雪信息在可见光与近红外的相互掺杂与干扰, 加之不同卫星传感器空间分辨率的差异, 对应不同传感器的光谱特征, 雪盖制图的多种分类

收稿日期: 2005-08-10; 修订日期: 2006-01-23

基金项目: 中国科学院西部之光项目“黑河中上游典型区草地、草场资源退化的遥感动态监测与生态恢复研究”(编号: 2002407)。

作者简介: 梁 继 (1976-), 女, 理学硕士, 2004 年毕业于中科院寒区旱区环境与工程研究所, 目前主要从事定量遥感的研究。E-mail

ljmayer@163.com.

方法被相继提出^[1-4],包括:目视解译、多光谱图像分类、阈值法像元统计、反射率特性算法、决策树、变化探测和图像比值技术等等。目前广为使用的可综合成三种:阈值法像元统计、监督分类和基于反射率特性的雪盖指数^[5,6]。

遥感资料提取积雪、监测积雪面积的历史早于 20 世纪 60 年代就开始了。不管是 TROS-1 资料,还是随后的 NOAA /AVHRR, SSM /I 等资料,虽然它们重返周期高,便于全球尺度的冰雪监测,但是它们的空间分辨率从 1km 到 20 和 30km 不等^[7,8],不利于小尺度区域上融雪径流模型和气候模型使用。Landsat MSS 和 TM 传感器的分辨率为 80m 和 30m,可用于测量流域(尺度)的积雪面积。为充分利用 20 世纪 70 年代高空间分辨率的 MSS 估算雪盖面积,为长时间序列且小尺度上融雪径流模型作输入因子,填补 70 年代部分气象数据的断口,精确提取其雪盖面积就成了关键问题。MSS 缺少判别积云高反射特性的短波红外波段, NDSI(Normalized Difference Snow Index)算法受到局限;而传统的分类方法(如最大似然法)与训练区样本关系紧密,强调先验知识,也不利于 MSS 的雪盖提取。依赖各地物的反射率特性和归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index NDVI)特性,本文试图探索一种基于 NDVI 背景场提取 MSS 雪盖面积的新方法。

2 NDVI背景场方法探索

2.1 NDSI雪盖制图

Landsat TM 影像的短波红外波段 5 对区别云和雪有重要作用,这种区别云雪的能力正是雪盖制图中精确确定积雪边界所需要的。其 NDSI 的计算如式(1):

$$NDSI = (\rho_{TM2} - \rho_{TM5}) / (\rho_{TM2} + \rho_{TM5}) \quad (1)$$

其判别积雪的阈值约束分别是:

$$NDSI \geq 0.4 \quad (1a)$$

$$\rho_{TM2} > 0.10 \quad (1b)$$

$$\rho_{TM4} > 0.11 \quad (1c)$$

NDSI 算法及阈值已由前人针对 TM 影像的雪盖提取在去除积云(式 1a)、云杉(式 1b)和水(式 1c)的工作上得到多次验证^[7,8],而且 NDSI 阈值算法已用于全球尺度的自动化积雪监测^[8]。

2.2 NDVI背景场雪盖制图

的归一化处理得到:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (2)$$

NDVI 是监测地区或全球植被和生态环境变化的有效指标,经过比值处理,可以部分消除与太阳高度角、卫星观测角、地形、云、阴影和大气条件有关的辐照度条件变化(大气程辐射)等的影响^[9]。NDVI 的取值限定在 [-1, 1] 范围内。对于陆地表面主要覆盖而言,云、水、冰雪在可见光波段比近红外波段有较高的反射率, NDVI 值为负值 (<0); 岩石、裸土在两波段有相似的反射作用, NDVI 接近于 0; 而在有植被覆盖的情况下, NDVI 为正值 (>0), 且随植被覆盖度的增大而增大^[9,10]。依赖冰雪的 NDVI 特性,设计以 NDVI 为背景场的雪盖制图算法基本流程如图 1 所示。

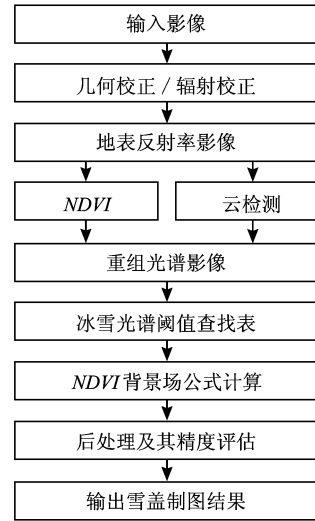


图 1 以 NDVI 为背景场的雪盖制图算法流程图

Fig 1 Snow cover mapper flowchart based on NDVI background field

2.2.1 地表反射率的反演

大气校正按照大气传输理论而建立,其订正包括两方面的内容,即大气参数的估计和地表反射率的反演。本文选择 6S 模型并基于地表朗伯体假设进行大气校正。首先将输入的 DN 值影像辐射定标转换成大气顶层的辐亮度^[11-13]。TM /ETM + 辐亮度定标的文献较多, MSS 定标相比较少,其定标参数见表 1^[14]。转换成大气顶层辐亮度的影像,从影像头文件和常规资料中获取时相、地理位置、大气传输、地形以及太阳天顶角等参数,编写 6S 模型的大气输入参数文件,反演影像中各地物的地表反射率^[15-17]。值得注意的是,6S 模型中的 MSS 仅针对 Landsat MSS, Landsat 2 MSS 影像需依据 6S 模型反

表 1 MSS 的 M IN、M AX 辐射亮度 (单位: $mW / (cm^2 * sr)$)

Table 1 MSS spectral radiance range

波段	波长	Landsat-2		Landsat-3		Landsat-4		Landsat-5	
		I_{min}	I_{max}	I_{min}	I_{max}	I_{min}	I_{max}	I_{min}	I_{max}
4	0.5-0.6	0.08	2.63	0.04	2.50	0.04	2.38	0.04	2.38
5	0.6-0.7	0.06	1.76	0.03	2.00	0.04	1.64	0.04	1.64
6	0.7-0.8	0.06	1.52	0.03	1.65	0.05	1.42	0.05	1.42
7	0.8-1.1	0.11	3.91	0.03	4.50	0.12	3.49	0.12	3.49

演地表反射率的辐射传输公式计算得到。获得地表反射率后, MSS影像根据式(2)计算 NDVI影像。

2.2.2 云阴影检测

与下垫面相比,云具有高的反射率和低的温度。因此,简单的可见光和红外窗区的阈值可提供相当不错的云检测方法。常见的有:(1) CLAVR (The NOAA Cloud Advanced Very High Resolution Radiometer) 算法 (Phase III)^[18],它利用 AVHRR 五个通道资料在全球范围内进行云检测;(2)当晴空检测的可信度比较高时,云阴影检测所用通道数据包括 0.94, 0.87 和 0.66 μm 的反射率^[7, 18],其检测条件为 $\rho_{(0.936)} < 0.12$ 且 $\rho_{(0.87)} / \rho_{(0.66)} > 0.9$;(3)某单通道反射率也能很好的检测黑背景下的亮云^[7]。不同下垫面条件和生态系统,可运用不同通道的反射率。如 0.66 μm 用在陆面、海洋和冰雪区域,而 0.88 μm 用在冰雪和沙漠地区;(4)反射率比值检测^[7]。 $\rho_{(0.87)} / \rho_{(0.66)}$ 的原理是云在这两个光谱上的反射率相近,而水体或植被在这两个光谱上的反射率有较大差异。云区在 AVHRR 两个可见光通道的反射率比值介于 0.9 和 1.1 之间;等等。

用上述云检测方法来区分云雪,云雪在可见光区均有高的反射率;短波红外区云仍然维持高的反射率,而冰雪只有低的反射率。本文寻找云样本的工作,在例证中结合 TM5 短波红外高反射特性与区分冰雪的阈值来检测云。缺少短波红外的 MSS 影像,则可以根据成熟的 $\rho_{(0.87)} / \rho_{(0.66)}$ 反射率比值掩模去云。

2.2.3 重组光谱影像

以 NDVI 为背景场,就是把 NDVI 作为一个“波段”,与原地表反射率值影像一起构成新的影像(图 2)。即以 MSS 为例,在 MSS 原有 4 个波段(表 1)的基础上,增加 NDVI“波段”,按照 4-7 波段与 NDVI 影像顺序,次序重命名波段数 1-5。TM 影像也类似叠置并重命名。原 TM 的短波红外波段 7 将变成重组后的波段 6,新的波段 7 由 NDVI 代替。重组后

的光谱影像在增加 NDVI 波段的基础上不改变原有波段的反射率特性,而叠置的 NDVI 波段将在光谱图中增加可视化效果,为“冰雪光谱阈值查找表”设置二值阈值时发挥作用。

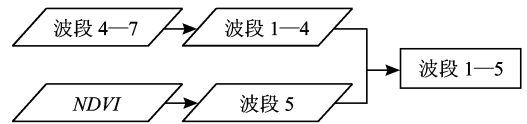


图 2 重组光谱图流程 (以 MSS 为例)

Fig 2 Recombinated spectral image flow by MSS

2.2.4 冰雪光谱阈值查找表

从影像中提取目标,关键是找准训练区并采集足够多的样本。该样本需纯化,使得性质单一,而且数量一定,影像上表现分布均匀。在重组光谱影像与 NDVI 影像链接(Link)共同寻找样本时,满足 NDVI 值不大于 0 的地物有冰雪、云、水、裸土以及岩石。NDVI 以 0 为边界的二值化作用使得从重组光谱影像中获取纯化的冰雪样本变得更简单,也就是说,雪盖提取只需要获得冰雪样本、非冰雪样本(水、裸土、岩石)及特殊的云样本。根据各纯化样本,在 ENVI 软件的 SPECTRAL 模块中生成包含 NDVI 非光谱值在内的光谱图(图 3)。

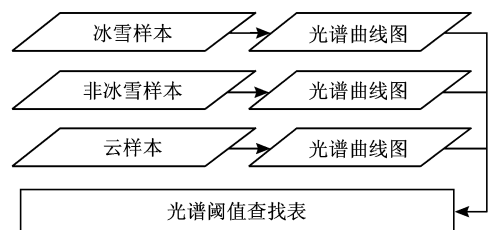


图 3 光谱阈值查找表流程图

Fig 3 Spectra threshold look-up-table flow

从光谱图中获取冰雪、非冰雪及云的该类“集合样本”的最大反射率值与最小反射率值,组成“冰

雪光谱阈值查找表”,该表由三类集合样本的最大最小反射率值以及冰雪光谱分界阈值 \hat{M} 构成,参见第 3 节中的表 2-4。由于冰雪在可见光的强反射与非冰雪的差异、短波红外的强吸收与云的差异,使得确定 \hat{M} 值成为可能。

2.2.5 NDVI背景场

冰雪光谱分界阈值 \hat{M}_i , 定义为在每个波段 i 上提取冰雪的反射率限定值,一般讲,可见光部分与非冰雪比较得到该波段限定值下限,而短波红外部分与云比较得到该波段限定值上限。其可比的前提条件是当 i 波段的冰雪光谱群集与非冰雪(云)光谱群集无交集时,光谱分界阈值 \hat{M} 才有可能存在。

假设 \hat{M} 存在,将无交空集区间 N 等分(假使 $N=2, \dots, 6$),表 2 中 \hat{M} 对应的分数为调节权重 α ,则 \hat{M} 可由式(3)获得,该式区分非冰雪与云时 \hat{M} 的不同计算方法:

$$\hat{M}_i(\alpha) = NonSnow_{max} + \alpha \times (Snow_{min} - NonSnow_{max})$$

$$\hat{M}_i(\alpha) = Snow_{max} + \alpha \times (Cloud_{min} - Snow_{max}) \quad (3)$$

式中, $\alpha = 1/6, \dots, 1/2, \dots, 5/6$, i 为重组光谱影像后的波段。假如调节权重 $\alpha = 0.5$ 时,同时考虑 NDSI 算法中去除水和云的经验不等式阈值,此时 \hat{M} 可相应简化成:

$$\hat{M}_i(0.5) = 0.5 * (Snow_{min} + NonSnow_{max}) \quad (4a)$$

$$\hat{M}_i(0.5) = 0.5 * (Cloud_{min} + Snow_{max})$$

$$\rho_{TM2} > 0.10 \text{ or } \rho_{msl} > 0.10$$

$$\rho_{TM4} > 0.11 \text{ or } \rho_{msl} > 0.11 \quad (4b)$$

\hat{M} 值的计算以及两条件的约束(式 4b),均在阈值查找表中完成。选定调节权重 α 值时,不但确定了

$\hat{M}(\alpha)$ 的大小,同时也确定了以 NDVI 为背景场的雪盖面积的大小,其计算公式如下:

$$SnowCover = (1 - |Band_{NDVI}|) * (Band_{NDVI} \leq 0) * \prod (Band_i, \hat{M}_i(\alpha)) \quad (5)$$

式(5)右边各项的意义分别为: NDVI 的背景场、NDVI 的二值化以及各波段与光谱分界阈值 \hat{M} 的关系。当调节权重 $\alpha = 0.5$ 时,式(5)也可以被简化成式(6):

$$SnowCover = (1 + Band_{NDVI}) * (Band_{NDVI} \leq 0) * \prod (Band_i, \hat{M}_i(\alpha)) \quad (6)$$

3 例证检验

基于 NDVI 背景场提取雪盖面积的算法,理论上利用各地物的光谱特性和 NDVI 特性获取冰雪光谱分界阈值 [式(3)-式(4b)],进一步通过背景场公式 [式(5)和式(6)] 提取雪盖面积。此算法获取雪盖面积的结果,与成熟的 NDSI 提取雪盖面积相比较组成混淆矩阵,获取的精度用来检验该算法的可行性。同时,为体现该算法较传统分类方法(如最大似然法)有更高的精度和优越性,例证将给出最大似然法与 NDSI 比较的精度结果。

选用黑河流域上游 1999 年 9 月 23 日 ETM+ (图 4(a)), 1987 年 10 月 9 日 TM (图 5(a)), 1995 年 8 月 19 日 TM (图 6(a)) 共三景影像数据,分别代表无云 LUT 模式、光谱分界阈值 \hat{M} 的约束和有云 LUT 模式。

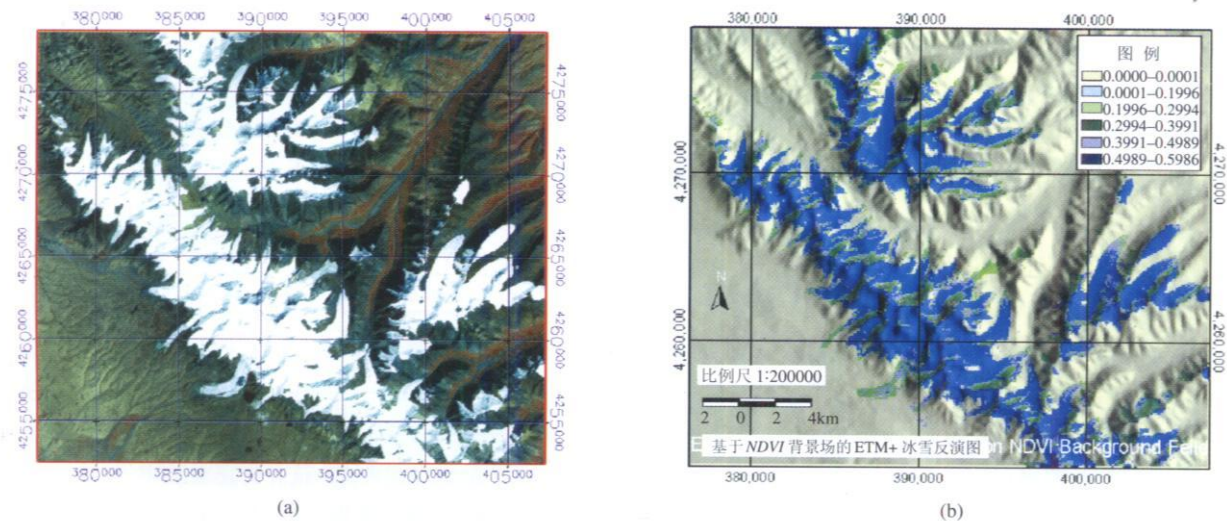


图 4 1999 年 ETM+ (a) 冰雪影像; (b) 反演冰雪图

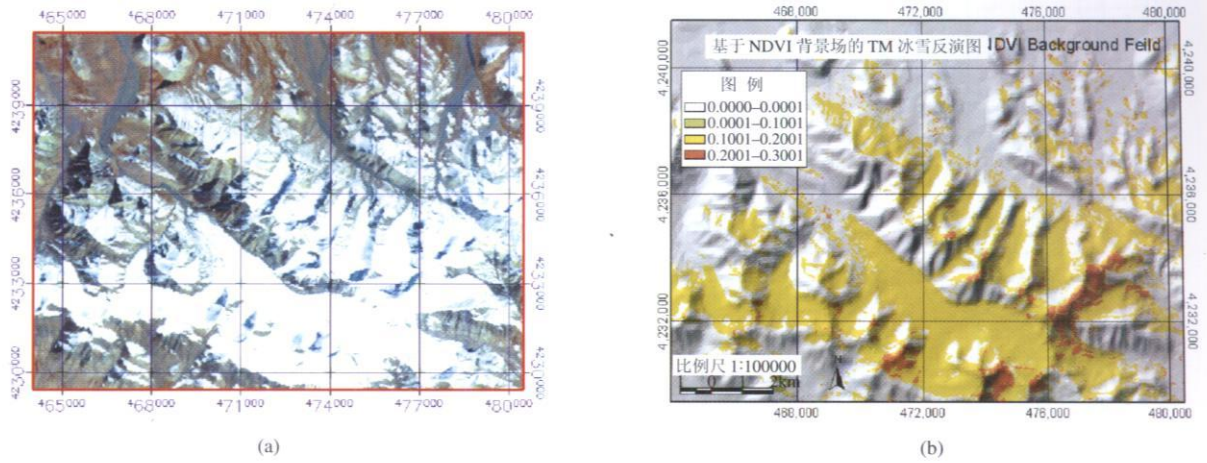


图5 1987年 TM
 (a) 冰雪影像; (b) 反演冰雪图
 Fig.5 1987 TM
 (a) Ice-snow Image; (b) Retriving ice-snow

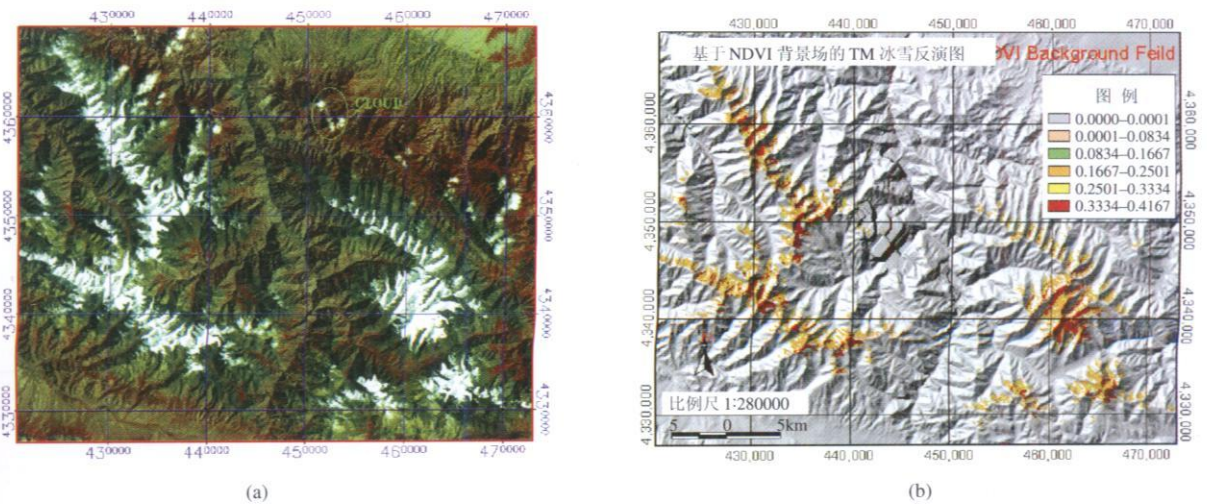


图6 1995年 TM
 (a) 冰雪影像; (b) 反演冰雪图
 Fig.6 1995 TM
 (a) Ice-snow Image; (b) Retriving ice-snow

从图 4(a)一图 6(a)上可粗略看出,影像质量较好,有云的部分很少,而云雪的划分是积雪制图的难题。事实上,影像的应用,只有当云/阴影的覆盖率少于 10%时该影像才具有较大的利用价值。而且影像的处理过程中,大气校正与云/阴影检测(见节 2.2.2)的环节已经很好的掩模了部分云的影响。此时影像有云无云是针对影像处理后的结果。

根据图 1 流程,输入影像经 6S 辐射传输模型后反演地表反射率影像;叠置 NDVI 重组光谱影像(见图 2);然后采集冰雪、非冰雪与云的样本,每类别均

有样本超过 20 个,类别的集合样本生成光谱图,如图 7—图 9 所示;最后冰雪光谱阈值 LUT 由光谱图演变获得(见图 3)。

图 7—图 9 依次是 1999 年 ETM+ 无云影像(图 4)、1987 年 TM 无云影像(图 5)及 1995 年 TM 有云影像(图 6)的光谱曲线图。光谱曲线分 (a), (b), (c) 三系列显示。其中, (a) 系列是冰雪的集合样本光谱曲线图; (b) 系列是非冰雪包括水、岩石、裸土等的集合样本光谱曲线图; (c) 系列是所有样本光谱图或云光谱曲线图。从 (a) 系列冰雪光谱曲线可

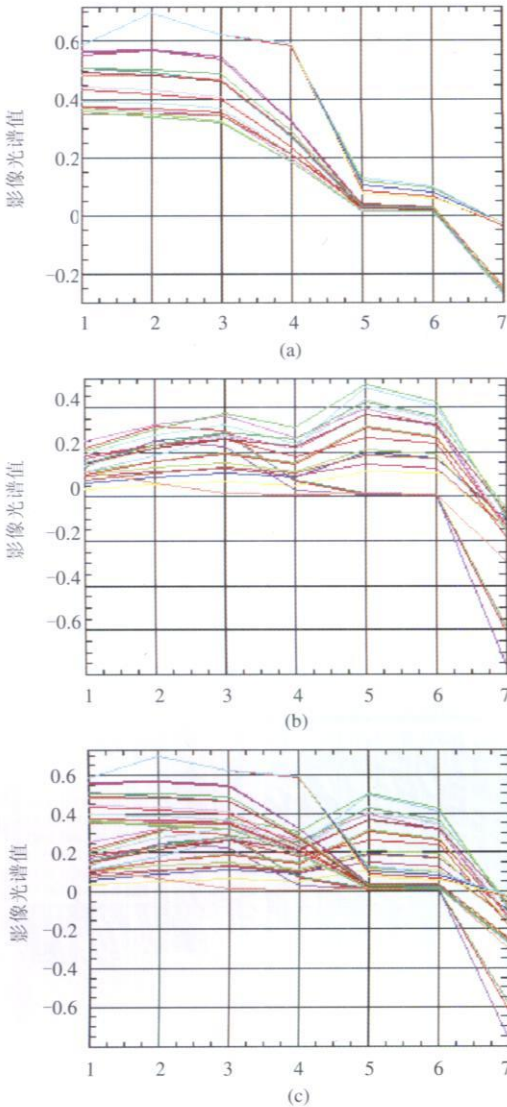


图7 1999年ETM+

(a) 冰雪样本光谱; (b) 非冰雪样本光谱; (c) 集合样本光谱

Fig.7 1999ETM+

(a) Snow spectra; (b) Non-snow spectra; (c) ROIs spectra

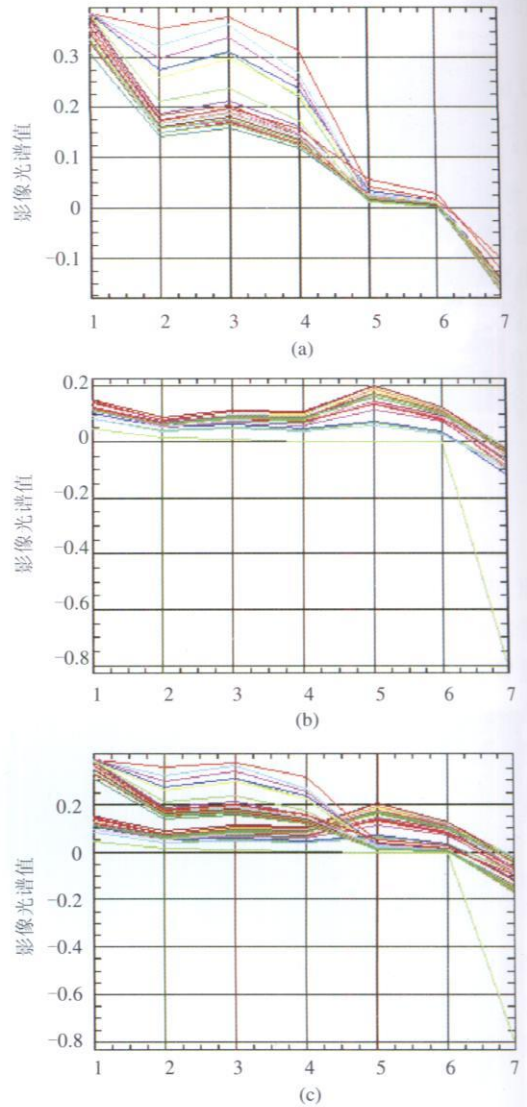


图8 1987年TM

(a) 冰雪光谱; (b) 非冰雪光谱; (c) 集合样本光谱

Fig.8 1987TM

(a) Snow spectra; (b) Non-snow spectra; (c) ROIs spectra

以看出:一是新雪、陈雪、粗雪和冰川冰的大致区别。当雪开始融化时,可见光波段的反射率比表面无融水的雪要低,这是由于雪表层的自由水对该波段的吸收增加所致。二是图 9(a)中前 4 波段出现了同反射率值的饱和现象,这是因为 Landsat 传感器对积雪遥感没有足够大的辐射动态范围所致^[7]。

表 2—4 依次是 1999 年 ETM+, 1987 年 TM 以及 1995 年 TM 光谱曲线(图 7—图 9)反演获得的光谱阈值 LUT。表 2 详细给出了调节权重 α 以及分界阈值 \hat{M} 的 9 种变化,表 3 和表 4 各简略给出了 5 种变化。从每种分界阈值 \hat{M} 代入式(5)均对应一次以 NDVI 为背景的积雪提取,同时分别获得与 NDSI 提取积雪的混淆误差矩阵的精度,该精度分别优于最

大似然法提取雪盖面积的精度(表 2—4)。19 种精度评价结果一致表明,调节权重 α 在 $[1/6, 5/6]$ 之间的变化虽然会导致 NDVI 背景场提取积雪精度在表 2—表 4 上下变化的不一致,表 4 在 $\alpha = 1/6$ 时获最高精度,表 2 在 $\alpha = 5/6$ 时获得最高精度,但是它们的精度波动范围不管是总体评价精度还是 Kappa 系数都仅有微小变化。事实上,当各样本类别越多越纯时,光谱差值将越准确,划分冰雪的阈值也会越精确,显然获得的冰雪精度也会更高。纵观 19 种精度结果也可得出,当 $\alpha = 0.5$ 时即可满足提取雪盖面积的精度需要。表 3 中星号代表波段 2 应满足提取积雪时云杉的约束,波段 4 满足对水的约束。图 4(b)—6(b) 分别是图 4(a)—6(a) 三影像

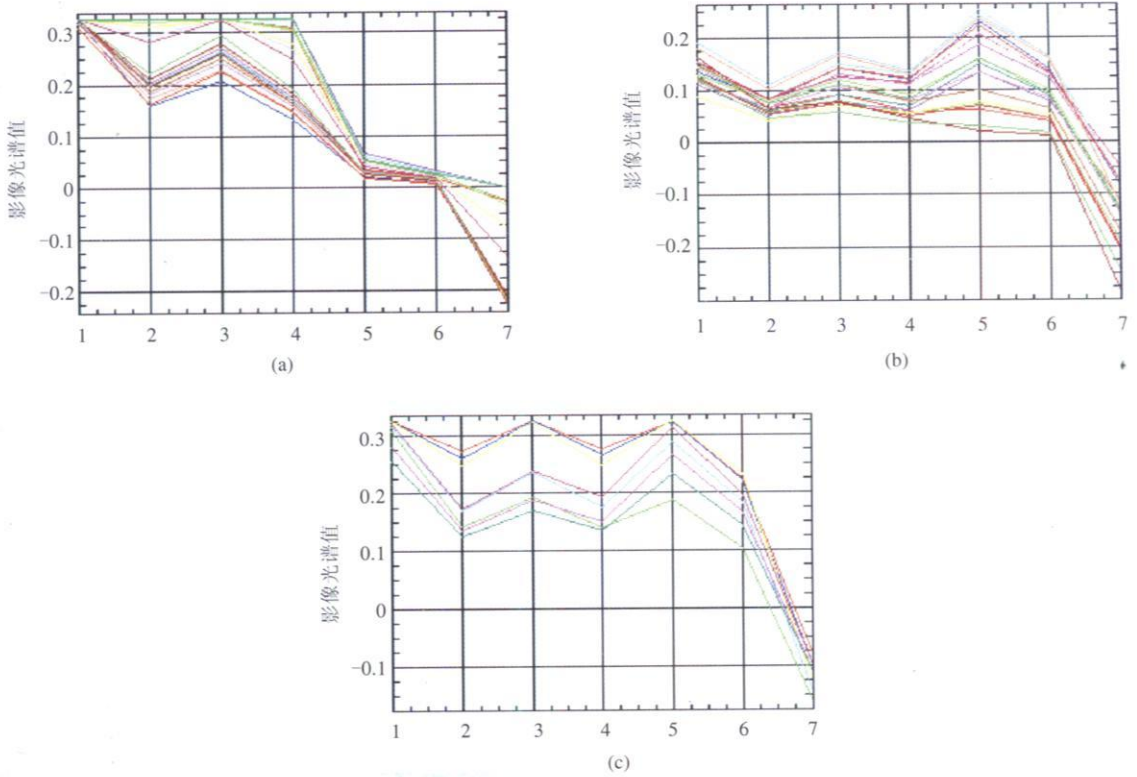


图 9 1995 年 TM

(a) 冰雪光谱; (b) 非冰雪光谱; (c) 云样本光谱

Fig. 9 1987TM

(a) Snow Spectra; (b) Non-Snow Spectra; (c) Cloud Spectra

表 2 ETM+(1999)冰雪光谱阈值查找表(无云状况)

Table 2 ETM+(1999) ice-snow spectra threshold look-up-table (no cloud)

光谱		波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5	波段 6	波段 7	精度	
冰雪	最大值	0.58824	0.69412	0.62353	0.59326	0.12936	0.09935	-0.02488	总体 精度 %	Kappa 系数
	最小值	0.35065	0.33983	0.31933	0.18597	0.01687	0.01417	-0.27446		
非冰雪	最大值	0.25210	0.31992	0.37660	0.30942	0.50085	0.42567	-0.05850		
	最小值	0.03572	0.05361	0.01564	0.00781	0.00939	0.00831	-0.77003		
M	5/6	0.3342	0.3365	×	0.11	×	×	≤ 0	99.4056	0.9651
	4/5	0.3309	0.3358	×	0.11	×	×	≤ 0	99.4037	0.9650
	3/4	0.3260	0.3349	×	0.11	×	×	≤ 0	99.3985	0.9647
	2/3	0.3178	0.3332	×	0.11	×	×	≤ 0	99.3928	0.9644
	1/2	0.3014	0.3299	×	0.11	×	×	≤ 0	99.3391	0.9615
	1/3	0.2849	0.3266	×	0.11	×	×	≤ 0	99.2950	0.9590
	1/4	0.2767	0.3249	×	0.11	×	×	≤ 0	99.2586	0.9570
	1/5	0.2718	0.3239	×	0.11	×	×	≤ 0	99.2436	0.9562
1/6	0.2685	0.3232	×	0.11	×	×	≤ 0	99.2094	0.9543	

注:该影像在 90%的相似概率下以最大似然算法提取雪盖的总体精度为 96.4104%, Kappa 系数为 0.7807。

表 3 TM (1987)冰雪光谱阈值查找表(无云状况)

Table 3 TM (1987) ice-snow spectra threshold look-up-table (no cloud)

光谱		波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5	波段 6	波段 7	精度	
冰雪	最大值	0.38558	0.35618	0.37783	0.31349	0.05551	0.02654	-0.09587	总体 精度 %	Kappa 系数
	最小值	0.30902	0.14088	0.15668	0.11855	0.01026	0.00175	-0.16606		
非冰雪	最大值	0.15110	0.08719	0.11624	0.10774	0.20494	0.12459	-0.01436		
	最小值	0.04760	0.00940	0.00940	0.00108	0.00050	0.00028	-0.80332		
M	1/2	0.2301	0.1140	0.1365	0.11 *	×	×	≤ 0	99.1403	0.9231
	1/3	0.2037	0.1051	0.1297	0.11 *	×	×	≤ 0	99.0228	0.9134
	1/4	0.1906	0.1006	0.1263	0.11 *	×	×	≤ 0	98.9854	0.9103
	1/5	0.1827	0.10 *	0.1243	0.11 *	×	×	≤ 0	98.9719	0.9092
	1/6	0.1774	0.10 *	0.1230	0.11 *	×	×	≤ 0	98.9621	0.9084

注:该影像在 90%的相似概率下以最大似然算法提取雪盖的总体精度为 97.7717%, Kappa系数为 0.8147。

表 4 TM (1995)冰雪光谱阈值查找表(有云状况)

Table 4 TM (1995) ice-snow spectra threshold look-up-table (including cloud)

光谱		波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5	波段 6	波段 7	精度	
冰雪	最大值	0.32504	0.32504	0.32504	0.32504	0.06447	0.03056	0.0000	总体 精度 %	Kappa 系数
	最小值	0.30795	0.15955	0.20778	0.13083	0.01672	0.00685	-0.22799		
非冰雪	最大值	0.19194	0.11042	0.17326	0.13613	0.25149	0.16307	-0.04674		
	最小值	0.08948	0.04173	0.05966	0.03736	0.01927	0.01113	-0.28791		
云	最大值	0.32504	0.27418	0.32504	0.27702	0.32504	0.23433	-0.08079		
	最小值	0.25700	0.12462	0.17015	0.13505	0.18962	0.10357	-0.16313		
M	1/2	0.2499	0.1350	0.1905	0.11	≤ 0.1270	×	≤ 0	99.3364	0.9501
	1/3	0.2306	0.1268	0.1848	0.11	≤ 0.1270	×	≤ 0	99.4031	0.9556
	1/4	0.2209	0.1227	0.1819	0.11	≤ 0.1270	×	≤ 0	99.4381	0.9584
	1/5	0.2151	0.1202	0.1802	0.11	≤ 0.1270	×	≤ 0	99.4684	0.9608
	1/6	0.2113	0.1186	0.1790	0.11	≤ 0.1270	×	≤ 0	99.4806	0.9618

注:该影像在 90%的相似概率下以最大似然算法提取雪盖的总体精度为 99.1714%, Kappa系数为 0.9371。

在 $\alpha=0.5$ 时以 NDVI 为背景场并增加 DEM 作山影的雪盖面积提取图像, 图例表示的值就是该影像在积雪覆盖下的 NDVI 绝对值。

4 结 语

模拟 20 世纪七八十年代的流域尺度融雪径流或局部地区气候时, MSS 影像因其高的空间分辨率也有可能为模型提供高精度的雪盖范围作参数因子。本文尝试探索一种针对缺少短波红外的 MSS

影像提取雪盖面积的以 NDVI 为背景场的新方法, 即依赖各地物的光谱特性差异和 NDVI 差异的方法。

实验中 ETM+ / TM 影像分别采用 NDSI 和 NDVI 背景场法以及最大似然法, 结果一致表明, NDVI 背景场法较最大似然法有更高的精度, 这样确保了该方法的可行性。与最大似然法相比, 两者虽然都强调感兴趣区样本的选择, 但是最大似然法更强调样本的纯化以及样本中值光谱的获取, 而 NDVI 背景场方法仅需要纯化样本的区间, 并不过分强调

样本的纯化以及样本中值光谱的获取,所以在 ETM + /TM 的检验中均获得了比传统方法更高的雪盖制图精度。

MSS 雪盖面积作为模型因子的应用工作虽有待进一步的开展,雪盖精度对局地气候模型或融雪径流模型的影响也缺乏量化的表示,然而,从误差传递和误差累积的原理上可以预测,雪盖的高精度会影响模型更精确和客观的模拟描述。从前人研究^[1]成果中也可看出,雪盖面积的精度是影响融雪径流模拟结果的关键。也就是说,在融水径流模型或气候模型中,NDVI 背景场方法比传统方法将提供更高精度的雪盖面积作为输入因子时,会使得水文或气候的模拟结果更接近真实自然状态。同时,从式(5)中也可看出雪盖提取与波段数的关系。光谱分辨率越高,波段数越多,获得的判别阈值关系式就有可能越多。因此 ASTER, MODIS 等传感器的成像光谱影像也可用该方法来获取雪盖面积。

NDVI 背景场方法是原创性工作,难免会存在影响因子的不周到。图像处理中冰雪像元的邻近效应、地形山影的影响以及云、阴影下地物光谱的恢复等因素均会影响到更高精度的雪盖提取。NDSI 提取雪盖面积时雪盖指数在 [0.4, 1] 之间,而 NDVI 背景场提取雪盖面积的雪盖指数在 [0, 1] 之间,如何将两雪盖指数范围有机联系起来,或者说从 [0, 1] 范围内能否继续细分新雪、陈雪以及粒雪的范围,还需要进一步的工作继续完善,合理改善 NDVI 背景场模型,使之成为行之有效的好方法。

参 考 文 献 (References)

- [1] Wang J Simulating Snowmelt Runoff in Mountainous Watershed of Italy Using GIS and Remote Sensing Data [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(4): 436-441 [王建. 基于遥感与地理信息系统的 SRM 融雪径流模型在 Alps 山区流域的应用 [J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 436-441.]
- [2] Hall D K, Riggs G A, Vincent V S Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data [J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 54: 127-140.
- [3] Hall Dorothy K, Jaroslav Martinec Remote Sensing of Ice and Snow [M]. London: New York: Chapman and Hall, 1990.
- [4] Feng X Z, Li W J Research on the Methods of Obtaining Satellite Snowcover Information [J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(10A): 836-839. [冯学智, 李文君, 柏延臣. 雪盖卫星遥感信息的提取方法探讨 [J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(10A): 836-839.]
- [5] Wang J Comparison and Analysis on Methods of Snow Cover Mapping by Using Satellite Remote Sensing Data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 1999, 14(4): 29-36 [王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(4): 29-36.]
- [6] Li Z, Shi J C Snow Mapping Algorithm Development and Validation Using Hyperspectral Data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(1): 67-73 [李震, 施建成. 高光谱遥感积雪制图算法及验证 [J]. 测绘学报, 2001, 30(1): 67-73.]
- [7] Liu Y J, Yang Z D. MODIS Remote Sensing Information Principle and Processing Algorithm [M]. Beijing: Science Press, 2001 [刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [8] Dorothy K. Hall Associate MODIS Team Member Hydrological Sciences Branch et al Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice Mapping Algorithm [S]. NASA, September 2001.
- [9] Tian Q J, Min X J Advances in Study on Vegetation Indices [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(4): 327-333 [田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展 [J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327-333.]
- [10] NDVI Scores http://www.e-education.psu.edu/courses/geog5121/L08_HIB.html
- [11] ETM + Calibration http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook.htmls/chapter8/chapter8_3.html
- [12] Gyanesh Chander, Brian Markham, Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook.htmls/chapter8/chapter8_3.html
- [13] Gyanesh Chander, Dennis L. Helder Landsat-5 TM Reflective-Band Absolute Radiometric Calibration [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 2004, 42(12): 2747-2760.
- [14] [Japan] Remote Sensing Association Remote Sensing Prime Paraphrase Surveying and Mapping Press, 1993 [[日] 遥感研究会编, 刘勇译. 遥感精解 [M]. 测绘出版社, 1993.]
- [15] GHULAM Abduwasit, Q in Q M. 6S Model Based Atmospheric Correction of Visible and Near-Infrared Data and Sensitivity Analysis [J]. Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium), 2004, 40(4): 611-618 [阿布都瓦斯提·吾拉木, 秦其明, 朱黎江. 基于 6S 模型的可见光、近红外遥感数据的大气校正 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2004, 40(4): 611-618.]
- [16] Mauro A. Honen. Instructions to run 6S code for raw images <http://www.ltid.inpe.br/dsr/mauro/6s/index.html>
- [17] Vemote E F, Didier Tanré's, Jean Luc Deuz', et al Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an Overview [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1997, 35(3): 675-686.
- [18] Vemury S, Stowe L, Anne V. AVHRR Pixel Level Clear-sky Classification Using Dynamic Thresholds (CLAVR-3) [R]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, December 1998.