

混合像元分解法提取积雪盖度*

延 昊 张国平

(中国气象局国家气象中心,北京 100081)

摘 要

通过对积雪、地物和云进行光谱分析,指出积雪在传统的 NOAA-AVHRR 可见光和近红外通道的高反射性特点和新增的 $1.6 \mu\text{m}$ 红外通道上的低反射性特点为提取积雪盖度提供了大量的光谱信息。首先对 AVHRR 数据进行主成分分析,提取含 99% 信息量的前两个主分量,对其进行散点图分析,获取终元。最后使用两种策略进行多光谱混合像元分解,提取积雪盖度参数,结果很相似,说明混合像元分解是提取积雪盖度参数的有效方法。

关键词: NOAA-AVHRR 积雪盖度 光谱线性混合模型 积雪参数

引 言

积雪是地表覆盖的重要部分,积雪的反射率比土壤、植被的反射率高许多,严重影响地表的辐射平衡,积雪的变化影响天气和气候变化分析的准确性。研究积雪分布、生成和消融及演变,关系到水资源利用、灾害分析、大气环流分析和环境演变分析,对于人类的生存环境、农牧业生产和经济发展影响极大。由于 NOAA 系列气象卫星每天覆盖全球两次(白天、夜晚各一次) 1.1 km 空间分辨率的特点,适合于积雪研究。应用 NOAA 卫星开展积雪研究的工作一直在进行,周咏梅等^[1]利用 NOAA-AVHRR 资料进行青海积雪区判读和积雪深度估算,史培军等^[2]在 RS 与 GIS 支持下对内蒙古草地雪灾监测和评估进行了试验研究,冯学智等^[3]对中国主要牧区雪灾从监测评估、判别模型、预测模型和评估模型四个方面进行了遥感模型研究,王世杰^[4]利用 NOAA-AVHRR 影像资料对新疆山区积雪量的估算方法进行了探讨,Cline 等^[5]提出业务化的美国大陆积雪自动制图方法。

准确识别云雪是提取积雪定量参数的基础工作。传统的 NOAA 系列卫星可以区分雪和地物(植被和土壤),却难于准确区分积雪和云,史培军等^[2]采用可见光通道最小亮度法提取积雪,周咏梅等^[1]借助 AVHRR 的红外通道采用多光谱资料识别积雪和云,积雪识别精度在 80% 以上。而 NOAA16 具有一个以往 NOAA 系列卫星所没有的通道,它的第 3 通道由 $3a \ 1.6 \mu\text{m}$ 和 $3b \ 3.7 \mu\text{m}$ 两通道组成,白天发送 $1.6 \mu\text{m}$ 探测值,夜晚发送 $3.7 \mu\text{m}$ 探测值,而云雪在 $1.6 \mu\text{m}$ 通道上的反射差异,对区分云雪效果很好,这为提高积雪参数反演的精度提供了可能。

积雪盖度是新一代天气预报模式需要的陆面参数,是对积雪的准确刻画。积雪盖度

* 本文得到科研院所社会公益研究专项资金“藏北生态环境及气象灾害遥感监测与预警研究”项目(2003DJB4J144)的资助。

2003-04-02 收到,2004-03-23 收到再改稿。

也是估算地表反照率的必要参数,用于地表辐射平衡研究,以提高辐射传输模式的精度。而在水文模式中,积雪盖度在像元尺度上影响地表的热力学计算和积雪的融化,以及积雪的水文效应。积雪盖度定量提取对遥感提出了迫切的要求,在这方面开展的工作较少。

本文首先对雪进行光谱分析,比较积雪、地物和云的光谱差异,同时指出 NOAA16 新增的 $1.6 \mu\text{m}$ 通道提供了更多的积雪光谱信息,最后使用多光谱混合像元分解法提取积雪盖度参数。

1 积雪光谱分析

图1显示的是由地物光谱仪测定的积雪、落叶林、草、土壤和水的的光谱曲线^[6](落叶林和草测定的是叶片,云难于在实验室进行光谱测定),波长从 0.4 到 $2.5 \mu\text{m}$,包括传统 NOAA 卫星的 $0.63 \mu\text{m}$ 可见光 (Ch1)、 $0.84 \mu\text{m}$ 近红外 (Ch2) 和 NOAA16 卫星新增的 $1.6 \mu\text{m}$ 红外 (Ch3a) 通道。水在整个 0.4 到 $2.5 \mu\text{m}$,始终小于 2% ,易于识别。在 Ch1 通道,雪的反射率很高,达 96% ,而其它地物反射率很低,小于 10% 。在 Ch2 通道,雪的反射率仍较高,达 90% ,而林和草的反射率增至 50% ,土壤的反射率增至 20% 。而在 Ch3a 通道,雪的反射率很低,仅 4% ,土壤和植被的反射率却较高,大于 28% 。

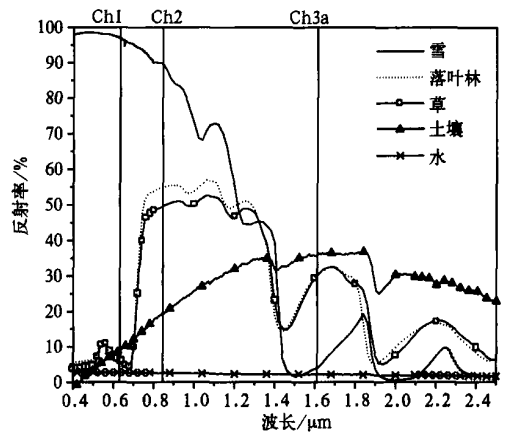


图1 地物光谱

同时,对云的长期卫星观测说明,云在这三个光谱通道上是一个高反射的物体,而在 Ch3a 通道上,雪是一个低反射率的物体,与高反射率的云和其它地物存在较大差异,这一光谱特征提供了准确识别雪的可能性。雪在 Ch1 和 Ch3a 通道上的光谱差异,为提取积雪盖度提供了大量光谱信息。

2 数据

NOAA16-AVHRR 的通道特征见表1。

表1 AVHRR的通道特征

通道	光谱范围(μm)	星下点分辨率(km)	典型应用
1	0.58 ~ 0.68	1.1	白天云和地表制图
2	0.725 ~ 1.00	1.1	白天水体和陆地的检测
3a	1.58 ~ 1.64	1.1	白天冰雪的检测
3b	3.55 ~ 3.93	1.1	夜间云检测和火检测
4	10.30 ~ 11.30	1.1	云制图和海面温度
5	11.50 ~ 12.50	1.1	海面温度

进行混合像元分解所使用的 NOAA16-AVHRR 数据是 2002 年 12 月 19 日白天的 1b 数据,进行了辐射定标、几何纠正、经纬度投影变换和云检测,分辨率为 0.01 度。研究区位于内蒙古东部和东北地区,西部为草地,中部为耕地,北部和东部为落叶林地,见土地覆盖类型背景图 2,经度从 117°29' E 到 128°43' E,纬度从 43°23' N 到 49°13' N,图像大小为 1123 × 568。



图 2 土地覆盖类型背景图

3 积雪盖度定量提取

3.1 混合像元分解法

卫星传感器记录的辐射是瞬时视场内所有地物辐射的综合,像元所记录的信号来自一个以上的地物类型,即遥感图像都是混合像元。随着图像空间分辨率的提高,混合像元的数量将减少,但不管空间分辨率达到多高,混合像元现象总是客观存在的^[7]。

传统的图像分析方法假设所有的像元都是纯像元,一个像元对应一种地物类型。因此,当遥感图像的分辨率较低时,每一像元含有较多地物,呈现为较复杂的混合像元时,这种图像方法所得结果(如地物分类、面积估算)的精度就会下降。为解决这个问题,一些学者^[8,9]提出了利用混合像元分解法来代替常规的一个像元一种类型的分析方法,混合像元分解法在一定程度上能够提高土地覆盖面积估算的精度。从混合像元角度来分析遥感图像更接近实际世界。混合像元分解法就是根据每一像元在各个波段的像元值来估算像元内各个土地覆盖类型的比例。NOAA/AVHRR 数据由于其空间分辨率较低,混合像元的比例很高,因此,NOAA/AVHRR 数据是混合像元分解方法应用的重点。

本文的混合像元分解法采用的是光谱线性混合模型,即任何波段中每个像元的响应是混合像元中每一个要素响应的线性组合,公式如下:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij}x_j) + e_i \quad (3)$$

式中, r_i 是像元在光谱波段 i 的观测反射率, a_{ij} 是第 j 个终元(end member)在光谱波段 i

的反射率, x_j 是第 j 个要素在像元中的面积比例, e_i 是在光谱波段 i 的误差项, $j = 1, 2, \dots, n$ (n 是要素数), $i = 1, 2, \dots, m$ (m 是光谱波段数)。误差项 e_i 可写为:

$$e_i = r_i - \sum_{j=1}^n (a_{ij}x_j) \tag{4}$$

使用最小二乘法求解 x_j , 使得 $\sum_{j=1}^m e_i^2$ 最小, m 是光谱波段数, 同时, 要求满足以下条件: 所有要素的面积比例 x_j 之和等于 1, 即 $\sum_j x_j = 1$, 以及每一要素的面积比例 x_j 在 $[0, 1]$ 之间变化, 即 $0 \leq x_j \leq 1$ 。

光谱线性混合模型的一个关键问题是确定终元, 作为一些基本土地覆盖类型, 终元代表这些土地覆盖类型的光谱特征。一般有两种方法确定终元在光谱波段 i 的反射率 a_i , 一是通过野外或实验室进行光谱测量确定, 二是通过分类法或主成分分析法从遥感图像上直接确定。本文采用第二种方法确定终元, 即对 AVHRR 数据进行主成分分析, 提取前两个主成分, 进一步通过分析其散点图确定终元, 最后使用光谱线性混合模型提取积雪盖度。

3.2 主成分分析

主成分分析(Principal Component Analysis)在数学上称为 KL(Karhunen-Loeve)变换, 是一种基于数据统计特征的多维正交线性变换, 也是数字图像处理中常用的一种图像变换方法。主成分分析在遥感图像处理上主要应用于数据压缩、图像信息的增强, 以及对地表覆盖动态变化的监测^[10]。本文对 AVHRR 数据的前三个通道进行主成分分析的算法是: 基于 3 个通道图像的均值, 计算均方差矩阵, 并求特征值和特征向量, 接着计算主成分变换矩阵, 最后计算出 3 幅主分量图像。主分量按方差的大小排序, 第一主分量的方差最大, 包含了信息量的绝大部分, 达 92.20%, 第二主分量的方差是 7.66%, 第三主分量的方差仅为 0.15%。

3.3 散点图分析

图 2 指示出该研究区在没有积雪覆盖情况下, 主要是林地、耕地和草地三种基本土地类型, 而耕地和草地的光谱在冬季是近似的, 可以归为一类按耕地进行处理。遥感图像显示该区在冬季增加了积雪覆盖类型。

对 AVHRR 数据主成分分析的前两个主分量包含了绝大部分信息, 达 99%, 对其进行散点图分析提取地物特征信息是可行的。对整个研究区作前两个主分量的散点图(图 3), 将散点的边缘连在一起, 近似成锐角三角形, 而在散点图的边角区域一般是终元, 共存在三择这三个终元, 其特征光谱见图 4, 个终元。选发现它们指示的是图像 5 中的积

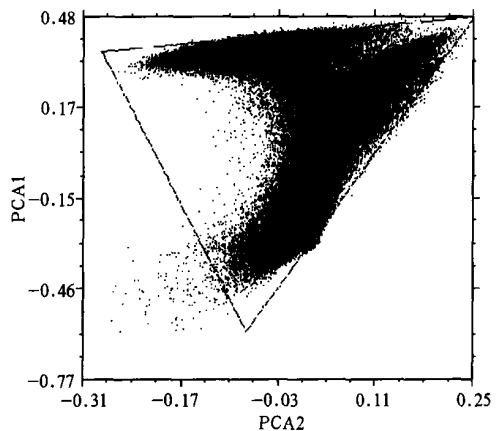


图 3 前两个主分量(PCA1 和 PCA2)的散点图

雪、林地、耕地三种土地覆盖类型。

3.4 光谱线性混合模型提取积雪盖度

分两种策略使用光谱线性混合模型计算积雪盖度。一是假设每个像元由积雪、林地、耕地三要素组成,对整个研究区域使用三个终元进行混合像元分解,得到积雪盖度、林地和耕地面积百分比,积雪盖度见图 5。二是依据土地覆盖类型图分别处理,对林地假设每个像元由

积雪和林地组成,只使用积雪和林地两个终元进行混合像元分解,得到积雪盖度和林地面积百分比,而对耕地,只使用积雪和耕地两个终元进行混合像元分解,得到积雪盖度和耕地面积百分比。最后将林区 and 农牧区的积雪盖度数据镶嵌在一起,得到整个研究区的积雪盖度(图 6)。对两种结果进行了对比分析,发现结果非常近似,相关系数为 1。

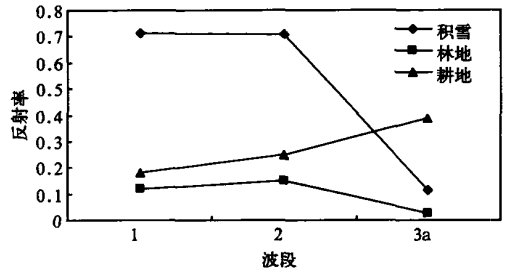


图 4 三个终元的特征光谱

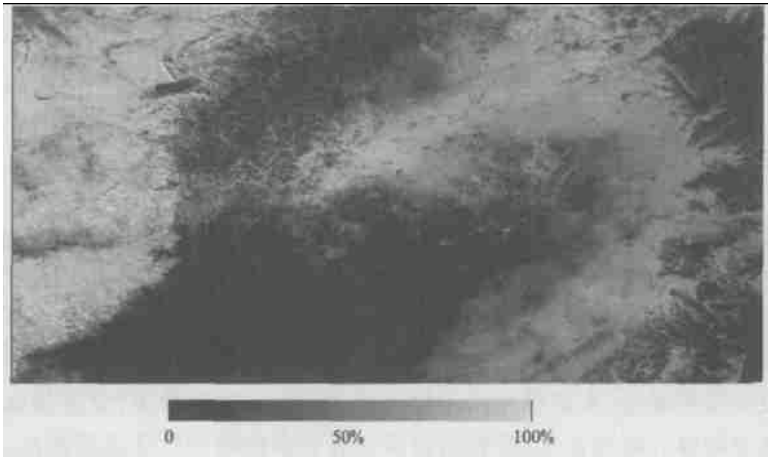


图 5 积雪盖度

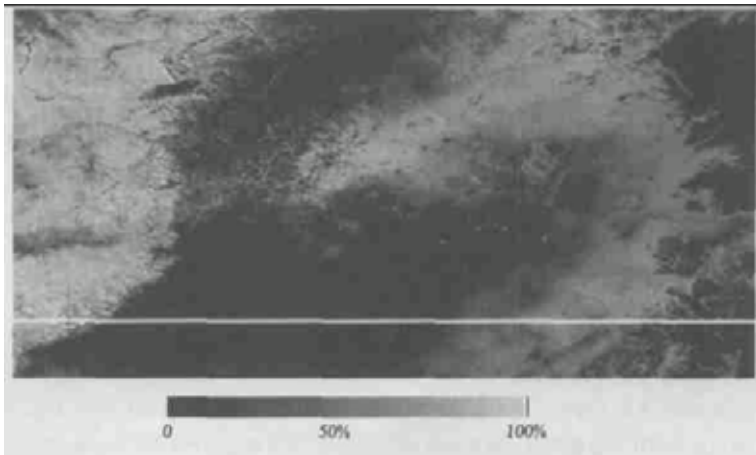


图 6 基于地物分类的积雪盖度

同时,在积雪盖度图 6 上沿东西向做一剖面,见图 6 中的东西向的白线,得到积雪盖度剖面图(图 7),显示左侧积雪盖度最大,约为 92%,主要是积雪覆盖;中部积雪盖度最小,约为 0,主要是耕地覆盖;右侧积雪盖度较大,约为 50%,主要是积雪和林地覆盖。

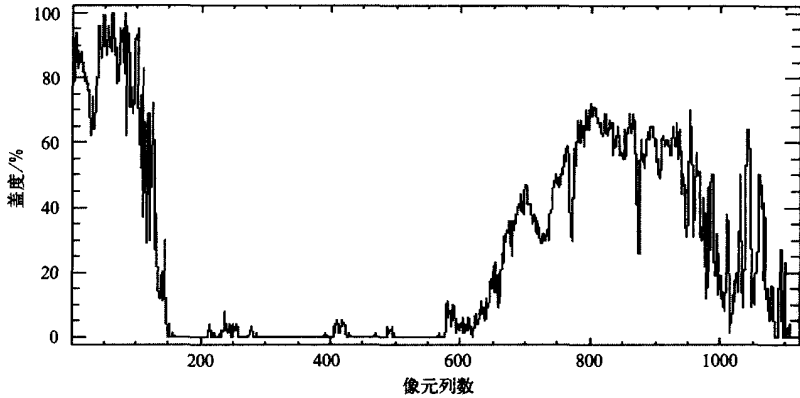


图 7 积雪盖度剖面图

4 结论与讨论

在积雪研究方面,高精度地区分云雪是所有工作的基础,光谱分析显示出 $1.6 \mu\text{m}$ 红外通道可以有效识别积雪。积雪在传统的 NOAA-AVHRR 可见光和近红外通道的高反射性特点和新增的 $1.6 \mu\text{m}$ 红外通道上的低反射性特点为提取积雪盖度提供了大量的光谱信息。

积雪参数对雪灾评估、水资源利用和数值模式运行有重要价值,定量提取积雪参数是遥感科学的重要内容。研究显示,多光谱数据含有较多的地物特征光谱信息,多光谱数据比单一光谱数据在地物识别方面有优越性。一般的图像分类方法如最大似然法获取的像元都是确定的地物类型,无法得到积雪的盖度信息,而使用光谱线性混合模型对 AVHRR 数据进行混合像元分解是反演积雪盖度的一种科学方法。

本文使用混合像元分解法从 NOAA-AVHRR 数据反演了积雪盖度,取得较好结果。积雪盖度混合像元分解法使用的终元必须包括积雪,而对是否按地物类型使用其它的终元不敏感,方法比较稳定。

参考文献

- 1 周咏梅,贾生海,刘萍.利用 NOAA-AVHRR 资料估算积雪参量.气象科学,2001,21(1):117~121.
- 2 史培军,陈晋.RS 与 GIS 支持下的草地雪灾监测试验研究.地理学报,1996,51(4):296~305.
- 3 冯学智,鲁安新,曾群柱.中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究.遥感学报,1997,1(2):129~134.
- 4 王世杰.利用 NOAA/AVHRR 影像资料估算积雪量的方法探讨.冰川冻土,1998,20(1):68~73.
- 5 Cline D W, Carroll T R. Operational automated production of daily, high resolution, cloud-free snow cover maps of the

- continental US. *Journal of Geophysical Research*, 1999, **104**(D16): 19631 ~ 19644 .
- 6 Clark R N, Swayze G A, Gallagher A J, et al. The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1 : 0.2 to 3.0 microns. U.S. Geological Survey Open File Report, 93-592, 1993 .
- 7 Fisher P. The pixel: A snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**(3) : 679 ~ 685 .
- 8 Atkinson P M, Cutler M E J, Lewis H G. Mapping sub-pixel proportional land cover with AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**(4) : 917 ~ 935 .
- 9 Quarmby N A, Milnes M, Hindle T L, et al. The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **14**(2) : 199 ~ 210 .
- 10 延昊,王长耀,牛铮,等.遥感植被指数对多时相 AVHRR 数据主成分分析的影响.遥感学报,2002,6(1) : 30 ~ 33 .

UNMIXING METHOD APPLIED TO NOAA AVHRR DATA FOR SNOW COVER ESTIMATION

Yan Hao Zhang Guoping

(National Meteorological Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract

Based on the spectral analysis of snow, soil, vegetation and cloud, it is pointed out that the first two channels of traditional NOAA AVHRR have troubles to distinguish snow from cloud, and the low reflectance of snow in 1.6 μm infrared channel can be used not only to distinguish snow from cloud but also to supply more spectral information to extract snow cover. So the principal components analysis (PCA) was made to AVHRR data, and it was found that the PCA-transformed first two principal components (PCA1, PCA2) contributes about 99% cumulative variance. And the scatter plot to these components was analyzed and the endmembers were given. Also, two different methods were adopted to extract snow cover by using spectral linear mixing model, and results are highly consistent, which indicate that the unmixing method is an effective way to retrieve snow cover parameter.

Key words: NOAA AVHRR Snow cover Spectral linear mixing model Snowpack parameters