

引用格式: Zhang Yonghong, Ren Wei, Cao Ting, *et al.* Method of Snow Multi-threshold Comprehensive Discrimination with FY-3/VIRR Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(6): 1076-1084. [张永宏, 任伟, 曹庭, 等. FY-3/VIRR 资料积雪多阈值综合判识方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(6): 1076-1084.] doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2015.6.1076

FY-3/VIRR 资料积雪多阈值综合判识方法研究

张永宏^{1,2}, 任 伟², 曹 庭², 田 伟³, 王剑庚⁴, 卢 晶⁵

- (1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044;
2. 南京信息工程大学信息与控制学院, 江苏 南京 210044;
3. 南京信息工程大学计算机与软件学院, 江苏 南京 210044;
4. 南京信息工程大学大气物理学院, 江苏 南京 210044;
5. 美国俄克拉荷马州立大学计算机科学系, 美国 俄克拉荷马 74078)

摘要: 利用卫星遥感监测积雪分布相比地面观测具有明显优势, 目前基于 FY-3 卫星数据在积雪监测方面的研究较少。借鉴现有积雪卫星遥感监测算法, 研究出适用于 FY-3/VIRR 资料的积雪判识方法, 利用归一化积雪指数和多波段综合阈值实现积雪判识, 提取积雪信息生成区域二值化积雪分布图。通过实例分析验证算法有效可行, 并与 MODIS 积雪产品 MOD10 及其 L1B 数据 NDSI 判识结果进行对比, 说明算法判识结果良好。研究表明, FY-3 卫星数据可作为积雪遥测的可靠资料来源, 可延用于积雪监测与灾害预警业务系统中, 促进国产卫星数据的应用与推广。

关键词: 遥感监测; FY-3/VIRR; 积雪提取; 综合阈值; MODIS

中图分类号: P426.63+5; TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2015)06-1076-09

1 引 言

积雪是地表覆盖的重要类型, 在自然界中表现十分活跃, 也是影响大气环境最为活跃的自然因素之一^[1]。积雪表面高反射率特性使得太阳短波辐射大量反射, 严重影响着地表辐射能量平衡和全球气候系统变化^[2]。大面积的积雪分布可以为西北干旱区域提供宝贵的融水资源, 并对区域经济发展和人民生活意义重大。同时, 积雪又会引发雪灾等自然灾害, 从而造成巨大的社会财产损失。因此, 积雪覆盖的精确监测及其动态变化对地表辐射能量平衡和全球气候系统变化、水资源利用、灾害分析和农业生产等研究具有重要的理论意义及实际应用价值。

对积雪进行监测研究的常规方法通常是采用地面观测站进行人工或仪器实地监测。这种方法不仅

消耗大量的人力物力, 并且监测结果受观测站点设置密度和观测密度等人为因素影响较大, 并且一般难以满足大范围监测的需求。因此, 利用卫星遥感资料进行快速有效、宏观经济的积雪监测技术随即展现其独特优势。目前, 国内外已分别就 AVHRR、TM 和 MODIS 等数据展开一定程度的积雪监测算法探讨和研究^[3]。在 20 世纪 60 年代, 便有学者利用一些气象卫星资料开展大范围积雪监测, AVHRR 积雪监测通过 3、4 和 5 波段判断区分积雪与云, 而将波段 2 用来进行积雪制图。Dozier 利用 TM 数据, 以波段 1、2 和 5 作为判断指标提取积雪。现在应用最广的是 MODIS 雪盖指数提取方法, 根据积雪的“光谱特性”, 在可见光波段的高反射率和近红外波段的低反射率来区分于其他地物, 即基于归一化雪盖指数的判断来确定积雪像元。

收稿日期: 2014-04-18; 修订日期: 2014-10-01

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划(91337102), 江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK20140997), 江苏省高校自然科学研究项目(14KJB170017)。

作者简介: 张永宏(1974—), 男, 山东临沂人, 教授, 主要从事大气遥感监测、图像处理分析研究。E-mail: zyh@nuist.edu.cn。

通讯作者: 任 伟(1990—), 男, 硕士研究生, 江苏泰州人, 主要从事遥感监测与信息技术研究。E-mail: nj1221406@gmail.com。

Salomonson 等^[4] 基于 MODIS 归一化差分积雪指数在全球范围内进行了逐像元的雪盖分析,并与 ETM 观测值做回归分析比较,结果显示 NDSI 极大地提高了积雪识别精度。Chang 等^[5] 利用 SMMR 和 SSM/I 的亮温资料提出一种“亮温算法”,进行被动微波遥感估算积雪信息。而国内研究人员在此方面研究相对较晚,并且无第一手的基础科学数据,如此并不利于研究开展,故大部分研究是基于国外卫星资料。王建^[1] 利用 Landsat/TM、NOAA/AVHRR 和 EOS/MODIS 3 种不同传感器的遥感数据,对训练样本监督分类、阈值数字信号统计和雪盖指数等积雪填图算法进行了对比与分析研究。冯学智等^[6] 利用 NOAA/AVHRR 和 TM 信息复合来提高积雪监测的精度。李金亚等^[7] 利用 MODIS 与 AMSR-E 数据实现我国六大牧区草原积雪监测研究。刘玉洁等^[8] 利用 SSM/I 数据对我国及周边地区雪盖进行判识。近些年,也有一些学者开始利用国内卫星资料研究出相应的积雪监测算法,黄晓东等^[9] 利用 HJ-1B 卫星数据进行积雪面积制图算法研究。李三妹等^[10] 考虑海拔高度、地理位置、季节和土地覆盖类型等因素,建立了多种阈值函数,提出 FY-2 静止气象卫星雪盖监测方法。

风云三号(FY-3)卫星是我国自主研发的第二代太阳同步极轨气象卫星,星上搭载着多种先进探测仪器,能实现全球、全天候、多光谱三维定量对地观测,可获取温度、湿度、气压、云层和辐射等众多遥感数据和资料。其应用目的包括以下 4 个方面:为中期数值天气预报提供全球均匀分辨率的气象参数,为气候预测提供各种气象及地球物理参数,监测大范围自然灾害和地表生态环境,提供军事气象保障服务^[11]。利用卫星遥感监测积雪分布相比地面观测具有明显优势,目前,就 FY-3 卫星资料的应用而言,基于 FY-3 卫星资料在积雪监测方面的研究较少。本文旨在研究利用我国现有 FY-3B/VIRR 数据提取积雪信息的可行性及有效性,利用 FY-3B/VIRR 数据计算 NDSI 并结合通道 2 和通道 9 的反射率值,进行图像像元统计综合设定多阈值,去除云的干扰以及水体和暗色目标的影响,最终实现积雪的有效判识,延用于积雪监测及其灾害预警业务系统中,促进国产卫星数据的应用与推广。

2 研究数据概况

我国从 2008 年起至今已先后成功发射风云三号系列气象卫星 A 星(2008/05/27)、B 星(2010/

11/05)、C 星(2013/09/23),并交付使用,目前运行良好。作为星上搭载的遥感探测传感器之一,可见光红外扫描辐射计^[12] 拥有 10 个光谱通道,其中既有高灵敏度的可见光通道,又有 3 个红外大气窗区通道,各通道波段范围、灵敏度见表 1。空间分辨率为 1.1 km,它的主要用途有监测全球云量,判识云的高度、类型和相态,监测植被生长状况和类型,监测高温火点和水汽总量,探测海洋水色、海表温度和监测大雾等。本文的研究资料主要来源于国家卫星气象中心——风云卫星遥感数据服务网([http://FY3. satellite. cma. gov. cn](http://FY3.satellite.cma.gov.cn))所提供的风云三号卫星可见光扫描辐射计的一级数据(L1)。为验证本文研究结果,还选用同区域相近时刻 MODIS 积雪产品 MOD10 及其 L1B 数据判识结果进行对比分析。

表 1 可见光红外扫描辐射计(VIRR)光谱性能
Table 1 Spectrum characteristics of VIRR

通道	波段范围 / μm	噪声等效反射率 $\rho/\%$ 噪声等效温差(300 K)	动态范围 (ρ 或 K)
1	0.58~0.68	0.1%	0~100%
2	0.84~0.89	0.1%	0~100%
3	3.55~3.93	0.4 K	180~350 K
4	10.3~11.3	0.2 K	180~330 K
5	11.5~12.5	0.2 K	180~330 K
6	1.55~1.64	0.15%	0~90%
7	0.43~0.48	0.05%	0~50%
8	0.48~0.53	0.05%	0~50%
9	0.53~0.58	0.05%	0~50%
10	1.325~1.395	0.19%	0~90%

3 研究方法

3.1 数据预处理

FY-3/VIRR L1B 数据采用 HDF5 格式(Hierarchical Data Format 5)。HDF5 将图像数据、经纬度、轨道参数、仪器噪声和太阳高度角等全部存储在一个科学数据文件中。在进行积雪覆盖提取前,必须对下载数据进行预处理以便控制数据质量,包括辐射定标、太阳天顶角订正、几何校正和镶嵌裁剪等处理环节。

FY-3/VIRR L1B 数据是采用无符号整数记录的观测值,并没有实际物理意义,故须通过辐射定标将数据图像的灰度值转化为具有物理意义的反射率值,对可见光近红外通道进行定标的公式如下:

$$R = S \cdot DN + I$$

(1)

其中: R 为通道反照率, S 为斜率, I 为截距, DN 为

VIRR L1B 数据中可见光和近红外通道的对地观测计数值。对应通道的 S 和 I 的数值存放在 HDF5 文件属性“RefSB_Cal_Coefficients”中,表 2 给出系数分别对应本文所需通道。

表 2 VIRR 主要通道定标系数
Table 2 Cal_Coefficients of VIRR

通道	斜率 S	截距 I
2	0.1353	-1.6236
6	0.09193	-2.48207
9	0.0746	-0.8952

另外,对于极轨气象卫星而言,成像时随各像元空间位置不同太阳高度差异明显,光照条件也就不同^[13]。因此,为进一步提高监测精度,本文通过太阳天顶角订正将不同空间位置的卫星遥感探测结果转换成统一的太阳直射值,订正公式如下:

$$R_1 = R_0 / \cos(\theta) \tag{2}$$

其中: LR_0 为原始反射率, R_1 为经太阳天顶角订正的反射率, θ 为太阳天顶角。

由于星载可见光扫描辐射计对地观测的视野特性、电磁波传输介质不均匀、地球曲率和仪器抖动等因素必定会引起探测数据的几何畸变,故需通过一定方式纠正遥感图像的系统及非系统误差,从而恢复遥感图像到标准地理空间位置。本文采用地理位置查找表法(Geographic Lookup Table, GLT)进行处理,利用 VIRR L1B 数据中的经纬度文件生成一个地理位置查找表。GLT 几何校正法可以避免通过地面控制点的二次多项式几何校正法对低分辨率图像数据的处理,具有较高的校正精度。最后根据经纬度对校正后的图像进行裁剪,得到研究区域,若单幅图像未能将研究区域全部涵盖,还应做相应的图像镶嵌处理。

3.2 雪的波谱特性及其遥感原理

积雪具有独特的波段反射率特征,图 1 为雪和云的反射率波谱特性曲线^[14],雪在可见光波段波长 $0.1\sim0.8\ \mu\text{m}$ 光谱段的反射率较高,与其他地物相比,其反射率也明显高于植被和土壤等,这很容易使得积雪与这些地物区分开来, $0.5\ \mu\text{m}$ 左右处反射率达 85% 以上,反射率随波长的增大逐渐下降,在 $1.60\ \mu\text{m}$ 近红外波段处的反射率较低,云在可见光波段与远红外波段的波谱特性与雪显得十分相似,当积雪上空有云层覆盖时,两者难以区分,必然使积雪信息监测产生很大误差。而在 $1.60\ \mu\text{m}$ 和 $2.10\ \mu\text{m}$ 附近的近红外波段上,云和雪的反射率存

在很大的差异,积雪吸收太阳辐射,反射较低,而云则表现为高反射特性。 $0.5\sim1.60\ \mu\text{m}$ 波段间云和雪的反射率变化表现为积雪的反射率随波长增大显著减小,而云的反射率减小很少,且基本保持较高反射率。因此,可利用这一反射特性变化差异,组合波段特征区分云和雪,实现积雪覆盖信息的区分。

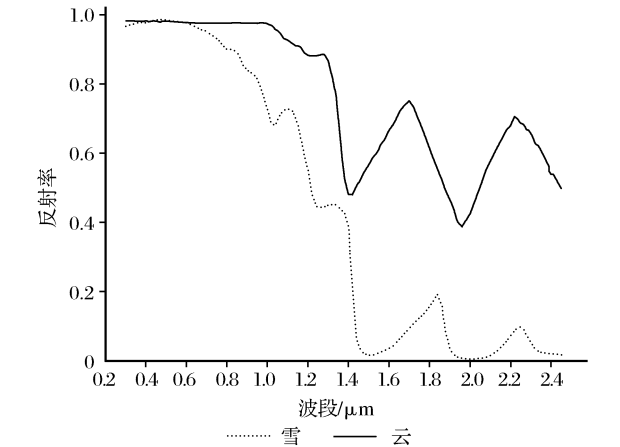


图 1 雪和云反射率波谱曲线 (Dozier, 1989)
Fig. 1 Spectral reflectance curves of snow and cloud

3.3 基于 FY-3B/VIRR 数据的积雪判识算法

根据以上积雪光谱特性及其与云的特性差异,借鉴国外积雪信息提取算法^[15-17],研究适用于 FY-3B/VIRR 数据的积雪像元判识算法。积雪具有很强的可见光反射特性且在短红外波段的吸收特性强,依据 FY-3B/VIRR 数据的特点选择预处理后可见光通道 9($0.53\sim0.58\ \mu\text{m}$)、短红外通道 6($1.55\sim1.64\ \mu\text{m}$)数据的反射率,首先计算归一化积雪指数(Normalized Difference Snow Index, NDSI),用于云、雪区分,初步实现积雪的判识。

$$\text{NDSI} = \frac{R_9 - R_6}{R_9 + R_6} \tag{3}$$

其中: R_6 和 R_9 分别为 FY-3B/VIRR 仪器数据预处理后在通道 6 和通道 9 内的反射率值。

另外,在利用 NDSI 进行积雪判识时,水体和阴影、浓密植被及低光区等暗色目标也会被误识别为积雪,为进一步完成积雪判识,需消除水体及暗色目标的影响,由水体和暗色目标的反射率波谱特性可知,水体在通道 2 辐射吸收性强,反射率低于阈值 b ,可利用 FY-3B/VIRR 第 2 通道数据设定 $R_2 > b$,可将水体区分消除。暗色目标对可见光波段反射率表现很低,利用 NDSI 直接判识积雪,易将其误判为积雪,所以可根据暗色目标在通道 9 反射率低于阈值 c 将其消除,设定 $R_9 \geq c$ 。最终采用 NDSI 及通道 2、9 组合的多阈值综合判别法,完成积雪判识并

消除水体及暗色目标的影响,判识结果生成二值积雪分类图,白色 1 为积雪,黑色 0 为非雪。

综上所述,利用 FY-3B/VIRR 数据的积雪判识算法为:

$$\begin{cases} \text{NDSI} \geq a \\ R2 > b \\ R9 \geq c \end{cases} \quad (4)$$

其中:NDSI 可根据公式 3 进行计算,R2 和 R9 分别为 FY-3B/VIRR 仪器数据预处理后在通道 2 和通道 9 内的反射率值。算法中的阈值 a、b、c 可通过结合地物反射率波谱特性曲线和实际研究区域图像像元光谱分析后调整设定。

4 实例分析

4.1 研究区概况

根据本文所述积雪信息提取方法,利用 FY-3B/VIRR 数据计算 NDSI 及通道 2、9 组合的多阈值综合判别法进行实例分析。实验选取 FY-3B 卫星 2013 年 12 月 4 日和 8 月 25 日的 VIRR L1B 图像数据作为本文研究数据,分别是积雪积累和消融

期,研究范围为 89°~97°E,28°~33°N,位于青藏高原青海省西南处和西藏自治区东北处部分区域,平均海拔高于 4 300 m,主要覆盖玉树、囊谦、那曲、当雄、丁青和类乌齐等多个县区的部分或全部区域。冬季多有大风雪,雪灾频发,对当地畜牧业发展影响巨大,造成经济损失。因此,选取该部分区域作为本文研究区域,意义更为明显,具有一定代表性。如图 2 所示,两期数据经 GLT 几何校正后,裁剪数据至研究区域范围内,选择通道 6、2、1 进行 RGB 合成彩色图像,遥感图像中包含多种地物,特征明显,雪为蓝绿色,云为白色,植被为绿色,水体及暗色目标为蓝黑色。2013 年 12 月 4 日为冬季降雪积累期,整个区域中一半为积雪,积雪厚度不同,颜色显示由浅到深,一些山脉地区积雪具有树枝状结构。在有水面与陆地共存之处,非冻结的水面上一般没有积雪,而陆地上常有积雪。2013 年 8 月 25 日遥感图像中积雪分布较为零散。同时,该区域此时云层分布较广。两期数据中地物颜色反映有所不同,主要是由于卫星传感器获取图像时太阳光照条件不同,实际处理过程中可利用太阳天顶角对此影响进行校正。

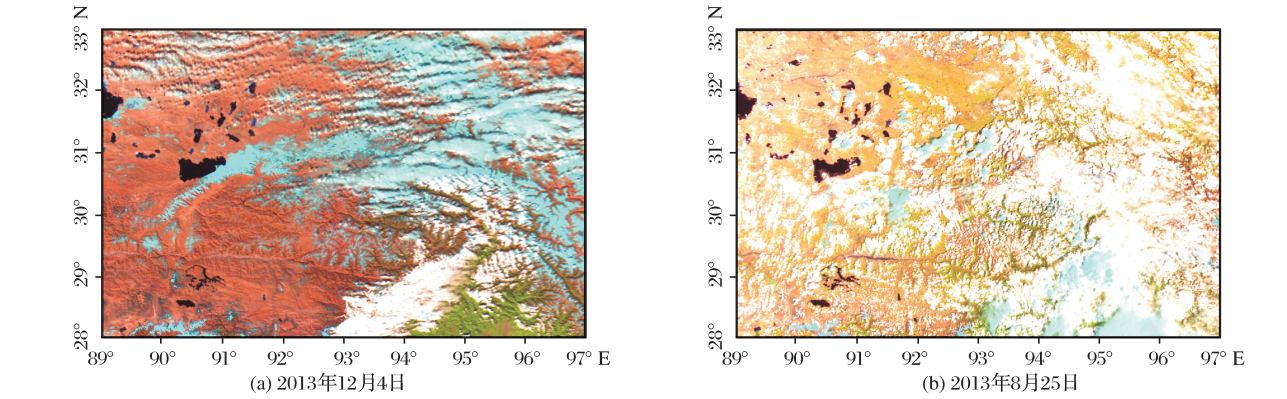


图 2 研究区域遥感图像
Fig. 2 Remote sensing image of the study area

4.2 基于 NDSI 的积雪判识

在积雪判识之前,首先对 VIRR 通道数据进行辐射定标和太阳天顶角订正,使得图像数据转换为有物理意义的反射率值,并保证太阳照度一致。然后,就所选研究区域利用通道 6 和通道 9 的反射率值计算 NDSI,生成归一化积雪指数图,实例分析以 2013 年 12 月 4 日遥感数据为例,如图 3 所示。对比彩色图像发现,图中各地物区别明显,且云和积雪差异明显,云显现为透明灰色,而积雪主要为白色,利用 NDSI 设定合适阈值判识积雪,易于将积雪与云区分出来,将 j 最大限度地去除云这种对积雪提取影响最大的干扰。

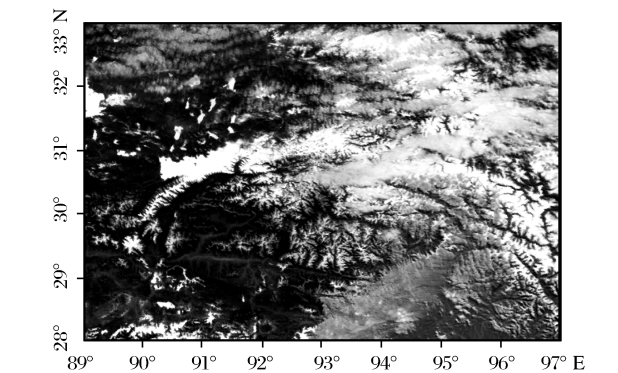


图 3 VIRR 归一化积雪指数图
Fig. 3 NDSI image of VIRR

阈值设定是通过结合地物反射率波谱特性曲线和实际研究区域图像像元光谱分析后设定^[18]。在归一化积雪指数图中,根据感兴趣区域选取训练样本,分析积雪、云、植被和土壤等地物等对应像元 NDSI 值,图像光谱分析结果如图 4 所示,分别为 VIRR 归一化积雪指数图中积雪、云、植被和土壤像元值与其出现频率的关系图。雪像元 NDSI 值

明显高于其他像元且主要在 0.35 以上,云像元在 0.1~0.35 之间,绿色植被及其他地物则更小,在 0.1 以下,土壤多集中在-0.35 左右。因此,本文阈值设定为 0.35,即公式(4)中的 a 的值为 0.35,即 NDSI 大于等于 0.35 的像元可判识为积雪,二值图结果分布如图 5 所示,白色为积雪,黑色为非雪。

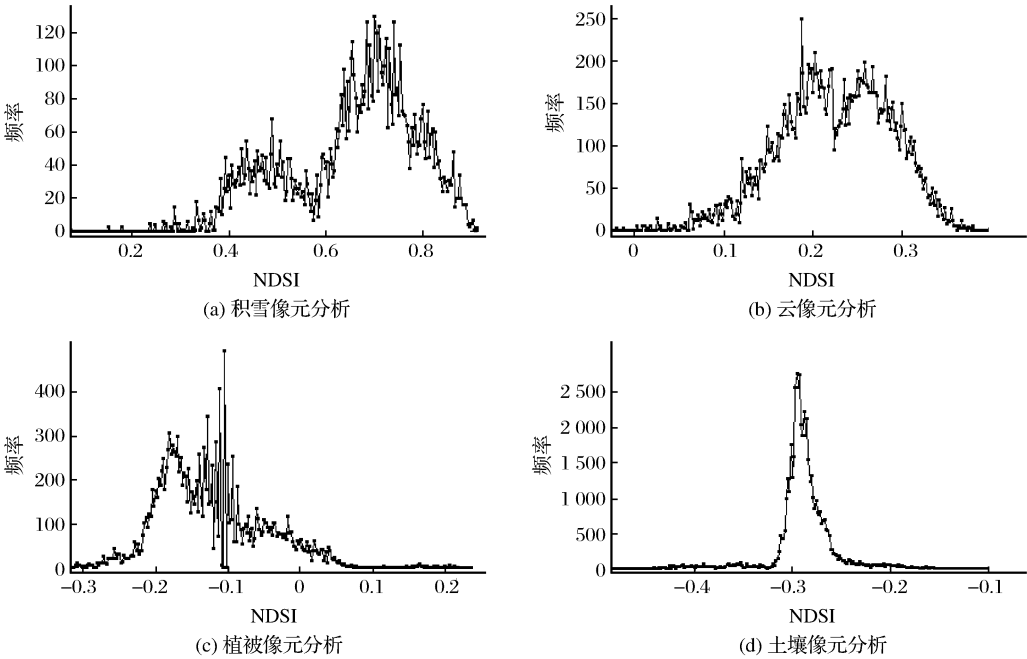


图 4 VIRR/NDSI 不同地物像元值分析图
Fig. 4 Analysis of different feature value in the VIRR/NDSI

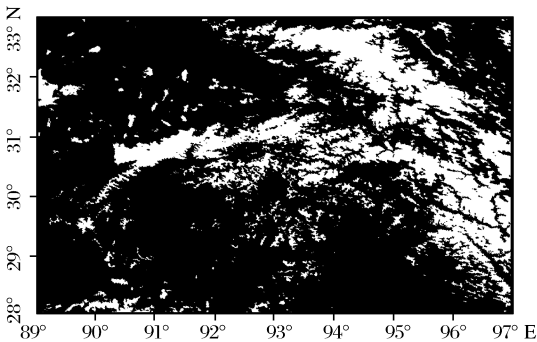


图 5 归一化积雪指数判识结果
Fig. 5 Discrimination result of NDSI

4.3 水体及暗色目标去除

仅通过归一化积雪指数法进行判识,水体及暗色目标对判识结果产生很大干扰且被误识别为积雪,因此根据上述水体及暗色目标的不同波段光谱特性分析,结合 VIRR 通道 2 和通道 9,设定多阈值进行综合判识。同样,对通道 2 和通道 9 实际研究区域图像像元进行光谱分析,可设定式(4)中 b、c 的值分别为

0.22、0.26。根据式(4)由光谱分析所得阈值。处理得到两期积雪判识结果如图 6 所示,最终有效地消除水体及暗色目标的影响,实现基于 FY-3B/VIRR 数据的积雪像元判识,主观判识对比原 RGB 合成彩色图像积雪分布基本一致,分别实现积累期和消融期积雪信息提取,表明该算法合理有效。

4.4 精度分析

利用地面气象站雪深观测值,选取研究区内 30 个有效地面站点,根据 Bendix 提出的精度分析计算式(5)^[19],分别计算误警率 α 、命中率 β 、成功指标 γ 。

$$\left\{\begin{aligned}\alpha &= \frac{m_1}{m_1 + m_3} \\ \beta &= \frac{m_3}{m_2 + m_3} \\ \gamma &= \frac{m_3}{m_1 + m_2 + m_3}\end{aligned}\right. \tag{5}$$

其中: m_1 为分别为地面实测无雪卫星判识有雪样本(雪深大于等于 3 cm), m_2 为地面实测有雪卫星判识

无雪样本, m_3 为地面实测和卫星判识均有雪卫星的样本。

分析结果见表 3 所示, A、B 分别为积累期和消融期的对比结果, 计算得积累期 2013 年 12 月 4 日

卫星数据积雪判识误警率为 6.7%, 命中率为 77.8%, 成功指标为 73.7%。消融期 2013 年 8 月 25 日命中率为 75.0%, 实际其他多次实验一般也可以达到 72% 以上, 判识效果良好。

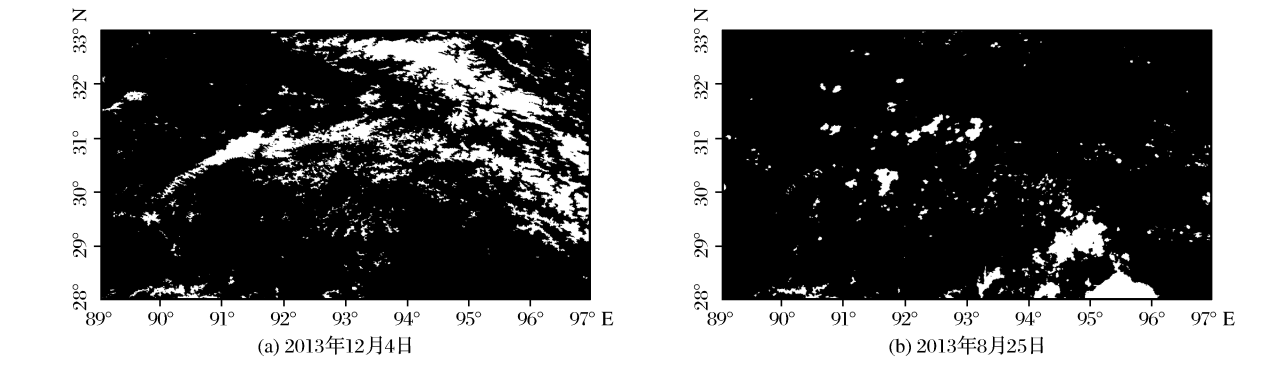


图 6 多阈值综合判识结果

Fig. 6 Comprehensive discrimination result of Multi-threshold

表 3 积雪判识精度分析						
Table 3 Accuracy analysis of snow discrimination						
卫星判识 结果	地面观测结果					
	有雪站点/个		无雪站点/个		总计/个	
	A	B	A	B	A	B
有雪站点/个	14	6	1	3	15	9
无雪站点/个	4	2	11	19	15	21
总计/个	18	8	12	22	30	

5 结果比较分析

本文研究表明, 基于 FY-3B/VIRR 数据的积雪像元判识方法能够有效地判识积雪积累期和消融期积雪分布, 为进一步分析基于 FY-3B/VIRR 数据的积雪像元判识效果, 选用同区域相近时刻 MODIS 积雪产品 MOD10 及其一级数据判识结果进行分析对比。首先, 根据 Hall 等^[15-17]提出的归一化积雪指数制图方法, 其条件为: $NDSI = (ch4 - ch6) / (ch4 + ch6) > 0.4$, $ch2 > 0.11$, $ch4 > 0.1$, 其中 $ch2$ 、 $ch4$ 、 $ch6$ 分别为 MODIS 第 2 通道和第 4 通道以及第 6 通道的反射率, 对同区域同时刻 MODIS L1B 数据进行积雪判识处理, 生成如图 7 所示的二值积雪分布结果, 白色为雪, 黑色为非雪。分析图 6、7 可以得到两者对研究区域积雪判识结果整体分布一致, 雪盖范围基本相同, 但同时也存在一定的差异, 差异主要来源于不同卫星传感器的性能以及阈值设定。对于一些地区 FY-3B/VIRR 数据判识精度明显高于 MODIS, 特别是地势相对较低、积雪较浅和部分林区判识结果表现更为敏感。

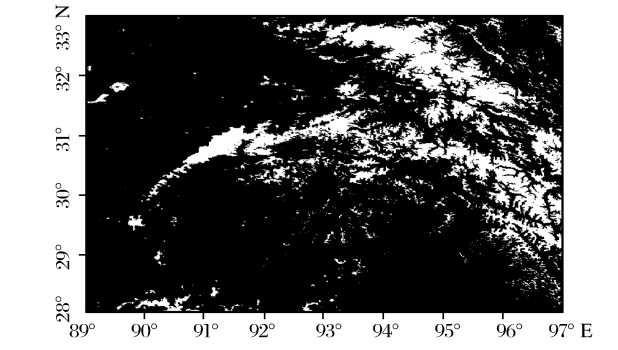


图 7 MODIS 数据积雪判识结果

Fig. 7 Discrimination result of snow with MODIS data

其次, 比较 FY-3B/VIRR 数据判识结果与图 8 MOD10 产品研究区积雪分布情况, 选择研究区域中那曲和当雄两县, 两地接壤地处藏北和藏北藏南交界之处, 属于较高海拔地区。积雪覆盖给当地牲畜觅食和农牧民生活造成一定影响。利用判识结果叠置到原图像数据的方法, 图 9(a)、10(a) 分别为 FY3B/VIRR 和 MODIS 数据两县区彩色图像, 将两

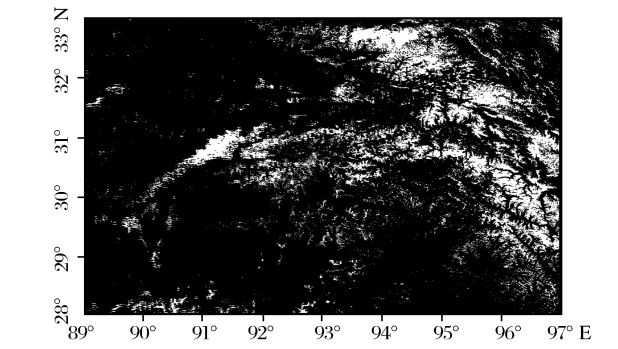


图 8 MOD10 产品研究区积雪分布图

Fig. 8 MOD10 product of snow cover in the study area



图 9 FY3/VIRR 两区积雪叠置效果
Fig. 9 Two areas snow overlap effect of FY3/VIRR

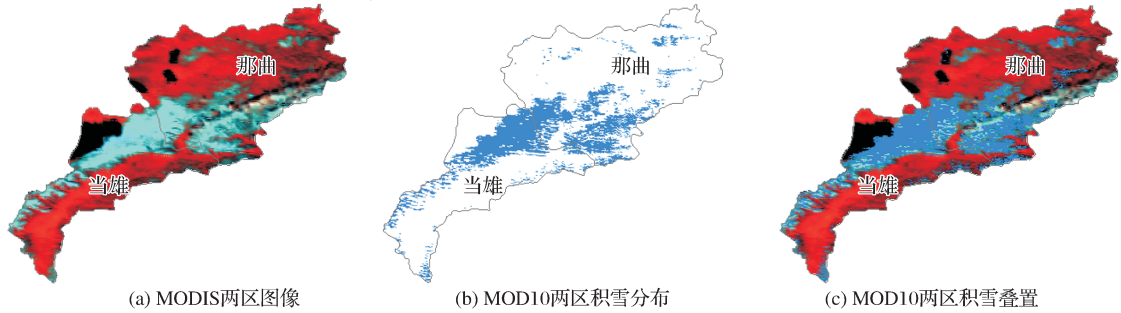


图 10 MOD10 两区积雪叠置效果
Fig. 10 Two areas snow overlap effect of MOD10

地积雪判识结果,如图 9(b)、10(b)所示,分别叠置到相应原彩色遥感图像中,可见 FY3B/VIRR 判识结果能基本重叠于实际图像中积雪处,如图 9(c)所示,并且能连续体现,仅有一些雪量很浅的地区未能判识,而 MODIS 积雪产品 MOD10 积雪分布与实际图像积雪也基本吻合,但由图 10(b)可见,在此区域多处分布间断,山脉地区更为明显,甚至存在较多区域的漏检情况,还有一些水体及暗色目标被误识。总体比较,FY3B/VIRR 判识结果更为良好。由于 MODIS 数据 NDSI 固定阈值是针对全球范围积雪研究而确定的^[20],而卫星监测时空性不同,故对于局部地区研究有一定影响,阈值需做适当调整。因此,利用卫星数据之前,应当根据传感器性能控制数据质量,并且针对不同研究区域调整判识阈值以提高判识精度。

6 结 语

积雪作为极其宝贵的融水资源,而大面积积雪又可能引起各种雪灾,所以利用卫星遥测积雪分布具有重要意义。本文借鉴现有积雪卫星遥感识别算法,研究出适用于 FY-3B/VIRR 数据的积雪判识方法,根据云、雪以及其他主要地物的反射率波谱特性

差异,利用 FY-3B/VIRR 数据计算 NDSI 并结合通道 2 和通道 9 的反射率值,进行图像像元统计设定多阈值,实现综合判识,去除云的干扰以及水体和暗色目标的影响,最终实现积雪的有效判识。选用处于积累和消融两期遥感图像进行实例分析,积雪判识命中率分别可达 77.8%和 75.0%。与 MODIS 积雪产品及其 L1B 数据 NDSI 判识结果对比验证,结果表明 FY-3B/VIRR 数据在积雪判识中效果良好,可为积雪监测提供可靠资料来源,有利于我国卫星资料的充分利用,适用于积雪监测与灾害预警业务系统。

另外需要说明的是,实际阈值的选取对积雪判识精度影响较大,需要根据不同研究区域不同季节不同地形等因素进行动态调整,通过调整阈值来提高判识结果精度,精度评价可利用地面观测数据进行验证。本研究对于图像中云覆盖下的积雪难以判识,从而将其作为云剔除,这也是利用光学传感器进行积雪判识不可避免的缺点,因此未来可融合 FY-3 卫星所搭载的高穿透性微波传感器 MWRI 数据,实现多源积雪判识,并结合积雪在 VIRR 中近红外波段和热红外波段的特性,充分利用 VIRR 多波段数据以提高积雪提取准确率。通过实现阈值合理

选择以及多源多波段数据融合判识,能够更准确地进行积雪判识精度,这也是下一步工作的重点。

参考文献(References):

- [1] Wang Jian. 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. 卫星遥感盖制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(4): 29-36.]
- [2] Li Hongxing, Li Hongyi, Liang Ji, *et al.* Effect of Light-absorbing Pollutant on Snow Spectral Reflectance in the Northern Xinjiang of China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(5): 782-787. [李红星, 李弘毅, 梁继, 等. 吸光性污染物对积雪光谱反射率的影响研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(5): 782-787.]
- [3] Dietz A J, Kuenzer C, Gessner U, *et al.* Remote Sensing of Snow—A Review of Available Methods[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(13): 4094-4134.
- [4] Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V. Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 54(2): 127-140.
- [5] Kelly R E J, Chang A T C. Development of a Passive Microwave Global Snow Depth Retrieval Algorithm for Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) and Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) Data[J]. Radio Science, 2003, 38(4). doi:10.102D/2002RS002648.
- [6] Feng Xuezhi, Li Wenjun, Bai Yanchen. Research on the Methods of Obtaining Satellite Snowcover Information[J]. Chinese Journal of Image and Graphics(A), 2000, (10): 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(A 辑), 2000, (10): 836-839.]
- [7] Li Jinya, Yang Xiuchun, Xu Bin, *et al.* Snow Monitoring Using MODIS and AMSR-E in Six Main Pastoral Areas of China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(9): 1097-1104. [李金亚, 杨秀春, 徐斌, 等. 基于 MODIS 与 AMSR-E 数据的中国 6 大牧区草原积雪遥感监测研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1097-1104.]
- [8] Li Xiaojing, Liu Yujie, Zhu Xiaoxiang, *et al.* Snow Cover Identification with SSM/I Data in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(1): 12-20. [李晓静, 刘玉洁, 朱小祥, 等. 利用 Ssm/I 数据判识我国及周边地区雪盖[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 12-20.]
- [9] He Yongqi, Huang Xiaodong, Fang Jin, *et al.* Snow Cover Mapping Algorithm based on HJ-1B Satellite Data[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(1): 65-73. [何咏琪, 黄晓东, 方金, 等. 基于 HJ-1B 卫星数据的积雪面积制图算法研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(1): 65-73.]
- [10] Li Sanmei, Yan Hua, Liu Cheng. Study of Snow Detection Using FY-2C Satellite Data[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(3): 406-413. [李三妹, 闫华, 刘诚. FY-2C 积雪判识方法研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 406-413.]
- [11] Dong Chaohua, Yang Jun, Lu Naimeng, *et al.* Main Characteristics and Primary Applications of Polar-orbiting Satellite FY-3a[J]. Journal of Geo-Information Science, 2010, (12): 458-465. [董超华, 杨军, 卢乃锰, 等. 风云三号 A 星 (FY-3a) 的主要性能与应用[J]. 地球信息科学学报, 2010, (12): 458-465.]
- [12] Cao Guangzhen, Qi Chengli, Ma Gang, *et al.* Mapping Cloud Mask of FY-3A VIRR to IRAS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(1): 89-92. [曹广真, 漆成莉, 马刚, 等. FY-3A 气象卫星 VIRR 云检测产品与 IRAS 的匹配[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(1): 89-92.]
- [13] Li Lin, Hu Yong, Gong Cailan, *et al.* Solar Elevation Angles Effect on Image Energy and Its Correction[J]. Journal of Atmospheric and Environment Optics, 2013, 8(1): 11-17. [栗琳, 胡勇, 巩彩兰, 等. 太阳高度角对图像能量的影响及其校正[J]. 大气与环境光学学报, 2013, 8(1): 11-17.]
- [14] Dozier J. Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 28(1): 9-22.
- [15] Hall D K, Foster J L, Salomonson V V, *et al.* Development of a Technique to Assess Snow-cover Mapping Errors from Space[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(2): 432-438.
- [16] Maurer E P, Rhoads J D, Dubayah R O, *et al.* Evaluation of the Snow-covered Area Data Product from MODIS[J]. Hydrological Processes, 2003, 17(1): 59-71.
- [17] Pu Z, Xu L, Salomonson V V. MODIS/Terra Observed Seasonal Variations of Snow Cover over the Tibetan Plateau[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(6): 137-161.
- [18] Jang Lulu, Wei Ming. Application of Fog Monitoring with FY-3A Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(4): 489-495. [蒋璐璐, 魏鸣. FY-3A 卫星资料在雾监测中的应用研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(4): 489-495.]
- [19] Reudenbach C, Bendix J. Experiments with A Straight Forward Model for the Spatial Forecast of Fog/low Stratus Clearance based on Multi-source Data[J]. Meteorological Applications, 2006, 53: 32-45.
- [20] Wang Wei. Monitoring Snow Cover in Pastoral Area on Qinghai-Tibetan Plateau[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011: 28-32. [王伟. 青藏高原牧区积雪监测研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011: 28-32.]

Method of Snow Multi-threshold Comprehensive
Discrimination with FY-3/VIRR Data

Zhang Yonghong^{1,2}, Ren Wei², Cao Ting², Tian Wei³, Wang Jiangeng⁴, Lu Jing⁵

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,
Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. School of Information Science Control, Nanjing University of
Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

3. School of computer science & Technology, Nanjing University of
Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

4. School of Atmospheric Physics, Nanjing University of
Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

5. Department of Computer Science, Oklahoma State University, Oklahoma 74078, USA)

Abstract: Monitoring the distribution of snow coverage via satellite remote sensing has an clear advantage over surface observation. And a few studies have been carried out about snow monitoring based on FY-3 data. A snow-discriminating method applying to FY-3/VIRR data with snow-satellite remote sensing monitoring algorithm is provided which is achieved by normalized difference snow index and multi-band comprehensive threshold, and regional snow cover classification maps are extracted. This algorithm is proved to be effective and feasible by case analysis, and results' comparisons are carried out with MODIS snow products MOD10 and its first level data identification results, which demonstrated this algorithm has dominant discriminating results. The study shows that FY-3 data is a reliable source of snow telemetry and can be used in snow monitoring and disaster predictive warning service, which facilitates the application and popularization of domestic satellite.

Key words: Remote Sensing; FY-3/VIRR; Snow cover extraction; Comprehensive Threshold; MODIS