

多通道卫星云图云检测方法的研究

马芳^{1,2} 张强² 郭锐² 张杰²

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020

摘要 通过对 2002 年 7、8、9 三个月, 范围为 (8. 65°N~59. 65°N, 73. 22°E~134. 42°E) 的 GMS-5 卫星云图 3000 多次数字资料的取样, 根据遥感原理和样本统计特征, 探讨了常用的通道阈值法云检测方法, 并尝试建立了红外分裂窗通道差值法和通道综合运算法的云检测方法。通过各种检测方法比较分析后发现: 对通道阈值法, 只要用红外一和可见光两个通道的阈值, 就可得到较好的检测效果, 但用这种方法阈值要随着太阳高度角和季节的变化发生相应的变化, 虽阈值变化的幅度不大, 却会对云检测工作带来很大的不便。此外, 该方法云检测的结果存在地理位置的影响, 即检测出的云量在中低纬度偏多而较高纬度偏少。作者建立的通道综合运算云检测方法, 不仅改善了地理位置的变化对云检测带来的影响, 而且通过红外分裂窗通道差值检测, 可减弱太阳高度角的影响, 减少了检测过程中阈值变化的繁琐, 同时得到了更好的检测效果, 检测结果与其可见光图像中的云区相比基本符合。

关键词 卫星云图 云检测 多通道 灰阶值 阈值

文章编号 1006-9895(2007)01-0119-10

中图分类号 P405

文献标识码 A

The Study of Cloud Detection with Multi-Channel Data of Satellite

MA Fang^{1, 2}, ZHANG Qiang², GUO Ni², and ZHANG Jie²

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020

Abstract Cloud detection is, by using various algorithms, to determine whether a pixel (or small area that is viewed by the satellite at a given time) is cloudy, clear or undecided. It plays an important role in analyzing satellite images, since the cloud influences should be removed from the images in the earth study, and then the authors can pick up clouds and to know where and how much the clouds are. Moreover, it is useful to determine the possible effects of clouds on climate in remote and mountain regions. In order to do this, the purpose of this study is to systematically present several algorithms of cloud-detection; and to find a more accurate algorithm that is helpful to understand the condition of cloud water over Qilian Mountains.

In this study, the cloud detection algorithms established with the multi-channel data of GMS-5 are introduced. There are four channels including two infrared split channels, visual channel and water vapor channel in GMS-5. About 3000 digital-data samples are taken out from the satellite images. The multi-channel cloud detection contains five kinds of samples including cloud, land, water, desert and snow-pack in four satellite channels. The study period is from July 1 to September 30, 2002 and the study area is from 8. 65° N to 59. 65° N and from 73. 22° E to 134. 42° E covering the whole China (1024×1024 pixels).

收稿日期 2005-04-07, 2006-05-22 收修定稿

资助项目 国家科技部“西部开发科技行动”重大项目 2004BA901A16

作者简介 马芳, 女, 1976 年出生, 硕士生, 主要从事卫星遥感资料应用和陆面过程研究。E-mail: mmafang@163.com

Based on the theory of remote sensing and the statistical characteristics of samples, cloud detection algorithms are established. In the first test, the algorithm is commonly used through utilizing thresholds of the *GMS-5* infrared and visual channels. The threshold values are built only from the two channels and to obtain results that contain most pixels of cloud, but the threshold values are changing with the season or solar altitude. When comparing the result images with the visual images, it shows that the detected pixels decrease in higher latitudes and increase in lower latitudes. The second algorithm is designed by using the difference of gray levels between two *GMS-5* infrared channels, and the threshold of infrared 1 and water vapor channel. In the detected images, the second algorithm is also affected by latitude. The detected cloud pixels are less in higher latitudes, and are more in lower latitudes, which is reverse from the first algorithm. Although it has only been tested in the daytime, because the second algorithm derives little effect from visual channel, it should perform quite well in any time as well. Moreover, there are four stable thresholds in the second algorithm. The third algorithm is more accurate, which is based on the two aforesaid algorithms. Because the third algorithm inherits the strongpoint of the two aforesaid algorithms, its results show that it can offer improved technique of the cloud detection applied to *GMS-5* imagery. Investigating the quality of the three algorithms, it is showed that the multi-channel incorporate method of cloud detection achieves a good agreement with the visible picture. However, it is difficult for the three algorithms to distinguish clouds from snow packs in *GMS-5* images.

Key words satellite image, cleaning cloud, multi-channel, threshold, gray levels

1 引言

卫星遥感已被广泛应用于天气分析、环境监测、能源调查及全球研究和区域规划等各个领域,专家们还在不断寻找各种方法,以便更进一步利用庞大的遥感数据资源。目前,由于遥感技术本身以及人们认识上的局限性,遥感技术的应用实用化有两个问题有待解决:一是数据处理与实时检测同步性不能满足实用要求;二是遥感图像的处理不能满足实用要求^[1, 2]。在遥感资料的处理过程中,云检测是首要解决的问题之一,例如:在云图分析、不同遥感图像融合以及光谱数据的定量反演等过程都需要进行云检测等。云检测就是通过对卫星观测到的目标物的辐射值进行区分,然后判断是晴空辐射还是云辐射^[3]。检测的目的是进行云区信息提取以及与其背景场分离,所以云和背景场之间的灰色阶的差别是重要的。反差越大,云的特征越容易鉴别^[4]。云检测所面临的主要问题是同一目标物反射的太阳辐射随着太阳高度角、纬度和季节的变化会产生变化,卫星图像中目标物对应的灰阶值也会发生相应的变化,所以检测时需要判定包含检测信息量最大的光谱通道以及最优化通道组合用来保证目标物的信息最大可能地得到提取,同时尽量减少参与运算的数据量,加快云信息提取的速度。

关于云图识别已经进行了大量的探索。早在

1988年 Goodman 等^[5]总结三种基本的云检测方法:阈值法、统计学方程以及辐射传输技术。现在采取的方法也是用不同的阈值法或是与其他方法(例如人工神经网络方法、专家系统等)相结合进行云信息提取。Simpsona 等^[6]利用阈值法改进了 *GOES* (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) 图像在洋面上的云检测方法;Choi 等^[7]采用阈值法结合阴影匹配技术研究了 *LANDSAT* 卫星图像的云检测。在国内,师春香等^[8]参照 Peak 和 Tag^[9, 10]提出的多阈值启发式和人工神经网络相结合的方法,设计了多阈值和神经网络方法进行 *GMS* 卫星红外云图中尺度云系的自动分割实验,杨澄等^[11]运用多阈值法开展 *GMS-5* 卫星云图云型分类的研究;邱康睦等^[12]使用红外窗区多通道阈值法进行 *NOAA* 卫星资料云检测,同时开发了正态分布法的红外单通道云检测方法。这些研究侧重的是利用红外通道进行云的识别,其他通道丰富的信息不一定被完全利用,检测中需要阈值较多,这又带来诸多不便。

本文选取了四个通道的 *GMS-5* 卫星资料,采用通道运算结合阈值法,尝试利用多个通道进行较大尺度的云检测,对云检测方法作进一步系统的研究,以减少阈值,简化检测过程,提高检测效果。

随着计算机技术的发展,专业处理软件功能不断增强,为遥感资料的处理和分析提供了有力的工

具。本文利用 ENVI 专业图像处理软件对 GMS-5 卫星资料进行处理和分析,在此基础上,开展多通道运算并结合阈值法的云检测方法试验,目的在于利用卫星云图了解测站稀少地区(例如山区、沙漠等)的云水资源背景或气候特征。

2 资料介绍与分析

2.1 资料说明

本文采用的数据选自中国气象局兰州干旱研究所干旱监测中心存档的 GMS-5 卫星资料。GMS-5 卫星的可见光红外自旋扫描辐射计(VISSR)有四个观测光谱通道:可见光通道、水汽通道以及红外分裂窗的两个通道。它们的波谱位置和星下点水平分辨率分别为:可见光(VIS: $0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$, 1.25 km 分辨率)、水汽(WV: $6.5 \sim 7.0 \mu\text{m}$, 5 km 分辨率)、红外一(IR1: $10.5 \sim 11.5 \mu\text{m}$, 5 km 分辨率)、红外二(IR2: $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 5 km 分辨率)。

在 GMS-5 卫星云图上选择试验训练区的范围是($8.65^\circ\text{N} \sim 59.65^\circ\text{N}$, $73.22^\circ\text{E} \sim 134.42^\circ\text{E}$),同时为了排除太阳高度角的影响,采样时间定为 2002 年 7、8、9 三个月每天正午 01:32 时(北京时,下同)左右的卫星资料。

2.2 检测目标物的选取

同一卫星图像中,每个像元表达了地物的时间、空间和光谱三维向量的平均值,而相邻像元的时间变化很小,空间和光谱的变化是显著的。遥感像元的空间和光谱差异是区分同一时相不同地表覆盖物质的基础^[13],这些差异是通过不同灰度变化

值(DN)来表示的,即采用不同的色彩或灰度来反应地物的温度、反照率或是高度。在中国华云技术开发公司研制的 GMS-5 卫星资料接收解译系统中,采用的色彩描述方案 LUT (look up table) 是 0~255 阶灰度变化,该卫星传感器 VISSR 的每个通道观测值与灰阶值 GLs (gray levels) 的对应关系如图 1~4。

在可见光通道 VIS 中(如图 4) DN 值只分割了 64 阶,为了与 0~255 阶灰度的分割方式相对应,该通道的 DN 值分别乘以 4 后方为在图像中显示的灰阶值。本文在分析过程中为了操作简便,直接取用样本点的灰阶值 GLs 进行数据分析。

在 GMS-5 卫星图像上,依据由影像的色调、形态、纹理结构等的明显差异建立的直接解译标志,可直接识别并选取的采样目标物分别为:云、水体和陆地(非沙漠和积雪的陆地覆盖面积)^[14]。在分析过程中由于沙地和积雪产生的干扰不容忽视,所以在检测运算设计过程中另外增加沙地和积雪作为目标物,共收集 3000 多个样本资料。

2.3 数据统计特征分析

首先,由目标物在四个通道(VIS: $0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$, WV: $6.5 \sim 7.0 \mu\text{m}$, IR1: $10.5 \sim 11.5 \mu\text{m}$, IR2: $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$)的样本灰度在各波段的分布特征建立概率分布图(图 5)。

由样本在各波段的灰阶分布概率图(图 5)表现出来的光谱特性,可以得到目标物在各波段中粗略的光谱响应模式。各通道样本的灰阶值都呈正态分布,只有积雪因为可取样本较少,所以在红外分裂窗通道中分布概率出现双峰结构。在可见光通道

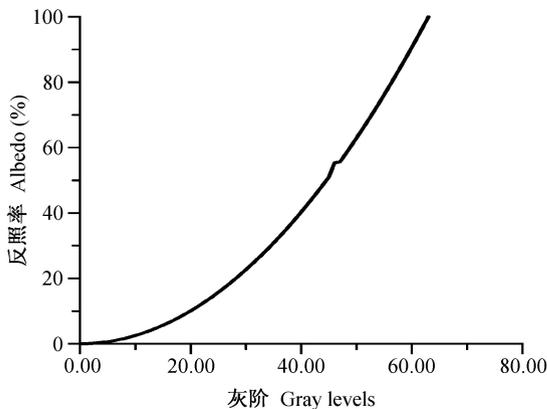


图 1 GMS-5 可见光通道的灰度值(GLs)与反照率的对照图。
Fig. 1 The correlation between brightness (GLs) and Albedo of samples in visible channel of GMS-5

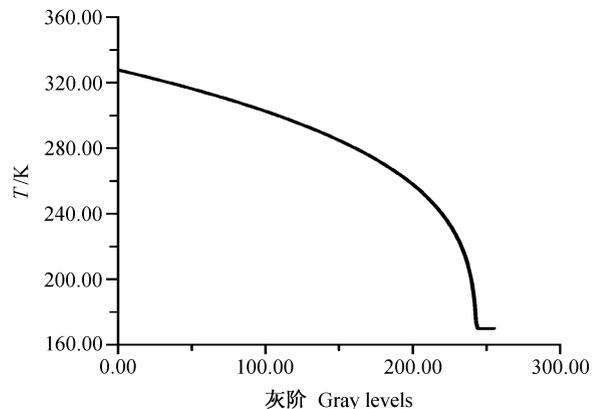


图 2 GMS-5 水汽通道的灰度值(GLs)与绝对温度(T)对照图
Fig. 2 The correlation between brightness (GLs) and absolute temperature (T) of samples in water vapor channel of GMS-5

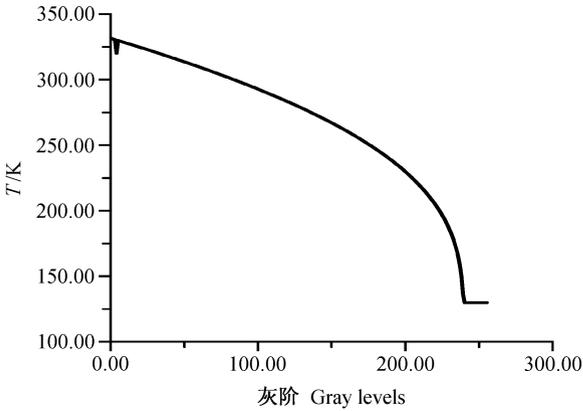


图3 GMS-5 红外一通道的灰度值 (GLs) 与绝对温度的对照图
Fig. 3 The correlation between brightness (GLs) and absolute temperature of samples in infrared one channel of GMS-5

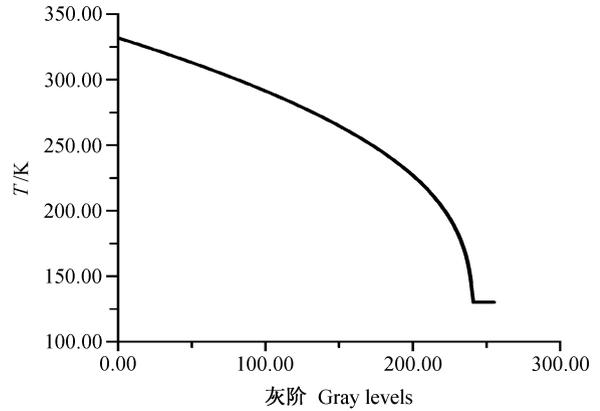


图4 GMS-5 红外二通道的灰度值 (GLs) 与绝对温度的对照图
Fig. 4 The correlation between brightness (GLs) and absolute temperature of samples in infrared two channel of GMS-5

(图 5a) 中, 云的反射受到云水含量、云的高度和厚度等多种因素的影响, 所以光谱响应区内灰度分布比较均匀, 与其他目标物在 120 阶 GLs 的区域开始分离, 到 200 阶 GLs 时达到最大分布概率为 17.42%。陆面的覆盖物、粗糙程度、土壤水分含量等条件的不同, 以及水体中叶绿素含量、悬浮泥沙含量、水深等因素的差异, 都会对它们的反射有很大的影响, 所以陆地和水体的 GLs 分布也较分散, 但是相对于云体则灰度响应区域较集中。沙漠表面的性质比较均匀, 反照率响应区域的离散程度也不大。此外, 虽然积雪可取的样本不多, 但大部分与云的范围重叠, 这会给云检测带来干扰。在水汽通道 (图 5b) 中, 样本灰度比较集中在 200~240 GLs 的区域, 分布概率峰值大多都集中在 210~220 GLs 的区域, 只有云体的 GLs 峰值偏移到了 230~240 的灰度区, 各目标物之间在此通道的灰度响应范围区别不是很大。在红外分裂窗两通道 (图 5c、d) 中, 样本灰阶值的分布特征相似, 峰值出现的区域稍有不同, 但摆动不大。90% 以上云体在 170~240 GLs 区域内, 概率峰值在 210~220 GLs 范围, 在大于 170 灰度值时, 云与其他目标物分离较大; 95% 以上的陆地集中在 80~110 灰阶区域; 水体集中在 90~100 阶灰度范围左右, 最大为 42.95%; 沙漠覆盖 60~120 的灰度区域; 积雪在 90~140 的灰度区域; 陆地、水体、沙漠和积雪都从 150 GLs 开始与云体分离。总体上, 云和其他目标物在可见光通道 VIS 中的可分性较强, 但也有许多重叠的部分较难区分。而在水汽通道 VP 中, 所有目标物之

间的可分性较弱, 但是该通道在分离目标物时可能起到补充的作用^[15]。此外, 在红外分裂窗, 样本在两个波段中的位置、分布范围、离散程度都有很强的相似性, 即这两个波段的相关性很好。且在这两个通道中, 云体的灰度响应范围最广, 与其他目标物都分离较大, 与沙漠和积雪的陆地、水体的可分性较强。由此来看, 红外分裂窗对云检测会有很大的贡献。

从样本整体统计特征来看, 直接确定云检测阈值会有许多干扰, 但在统计过程中发现样本点在红外分裂窗的两个通道的灰阶值保持很好的相关性, 它们之间有着对应的数学关系即两个通道的灰阶值之差 ($IR1 - IR2$) 的结果有如下规律: $IR1 - IR2 \geq 0$ 的值在目标物为云的时候占 96.02%, 只有在低云或逆温时小于 0, 而其他目标物绝大部分的 $IR1 - IR2 < 0$ 。

目标物的光谱特性决定了各个通道的值之间有一定的关系, 利用这种关系可以对改善云检测的效果起到辅助的作用, 所以将多个通道的关系融合对建立较好检测关系是有帮助的。另外, 由于样本取样的随机性, 可能会出现一些偏差, 所以要在参照样本统计特征的前提下进行多次试验来确定检测阈值。

3 多通道检测方法试验

多通道云检测方法试验是根据遥感原理结合目标物在各通道灰阶值的统计特点来确定云检测算法。检测效果是通过云检测图与可见光云图相比较

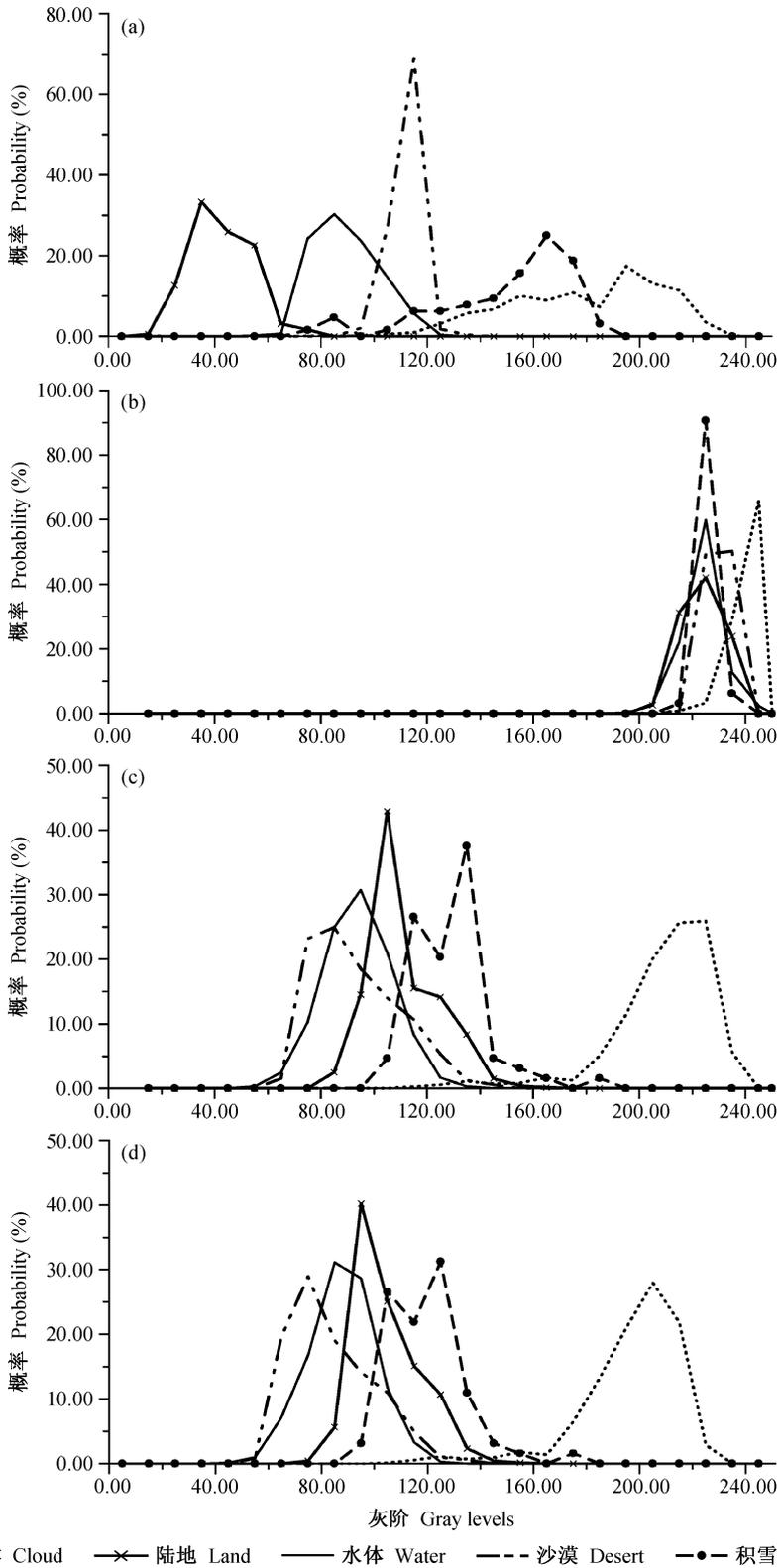


图 5 在各通道中各目标物的灰度 (GLs) 的分布概率: (a) 可见光通道; (b) 水汽通道; (c) 红外一通道; (d) 红外二通道
Fig. 5 distribution probability of brightness of samples in (a) visible channel, (b) water vapor channel, (c) infrared 1 channel, (d) infrared 2 channel

得到。

3.1 阈值法云检测

从各波段样本灰度值的分布概率图(如图 5a~d 所示)可以看出:在红外分裂窗通道中,云和其他样本目标物的灰度分布区域差别较大,在这两个通道确定阈值可以分辨出大部分的云体。同时,由于云的观测值在这两个波段之间有很好的相关性(0.9985),统计特征较为相似(如图 5c、d),阈值范围也很相近,所以为了减少运算量,只选用了波长较短且对大气辐射影响更大的红外一通道带入检测关系中。另外,因为在卫星图像中可见光通道所包含信息量最大,所以要想提高白天的云检测效果就必须考虑到该通道的贡献。而在水汽通道各目标物与云体的灰度覆盖区域重叠且分布频率特点相近(见图 5b),在选定的时间段内该通道对云检测的贡献不大。由此建立云检测关系如下:

$$(C_{h1} > c_1) \wedge (C_{h3} > c_3), \quad (1)$$

式中, C_{h1} 是可见光通道的反照率所对应的灰阶值; C_{h3} 是红外一通道的辐射亮温所对应的灰阶值。 c_1 和 c_3 是相应通道的检测阈值,是随太阳高度角、地理位置以及季节变化而发生相应的变化,但变化幅度不大。“ \wedge ”表示逻辑乘。

以 2002 年 9 月 27 正午 01:32 时的 GMS-5 卫星资料的检测结果为例,检测的效果是与可见光图(如图 6)比较而言。云检测图中(如图 7),黑色的部分是非云区,其他较白亮的部分为检测出的云。

可见光云图(如图 6)在与公式(1)的检测结果(如图 7a)对比分析后发现:该方法受到纬度的影响,较高纬度的云量偏少,较低纬度云量偏多,检测出的总云量偏少;沙漠的干扰不大;在同一时刻仅用少量阈值即可得到较好的检测结果,检测过程较简单。

3.2 红外分裂窗的通道差值法云检测的研究

在统计样本红外一和红外二两个通道的差值的分布概率发现:在红外分裂窗中,两通道灰阶值满足 $IR1-IR2 \geq 0$ 的云采样像素点占 96.02%,只有在逆温状况下或是部分稀薄云体、云体边缘会出现 $IR1-IR2 < 0$ 的情况;在试验区内,满足 $IR1-IR2 \geq 0$ 的陆地(沙漠和积雪除外)和水体采样像素点仅分别为 3.567%和 2.332%。并且,由于红外分裂窗的光谱临近特性,两个通道的灰阶值具有很好的相关性,特别是对云来说,两者的相关性达到了

99.85%,所以可以假设在 GMS-5 卫星云图中云体对应的灰阶普遍存在着 $IR1-IR2 \geq 0$ 的关系,由此建立红外一和红外二通道之间的运算公式如下:

$$[(C_{h3} - C_{h4}) \geq c] \wedge [(C_{h3} - C_{h4}) \leq c'], \quad (2)$$

式中, C_{h3} 是红外一通道的辐射亮温所对应的灰阶值; C_{h4} 是红外二通道的辐射亮温所对应的灰阶值; c 为常数,在试验中取值为 0。 c' 是由图形软件的特殊性建立的阈值。

分析公式(2)的检测结果(图 7b)和可见光云图(图 6)以及公式(1)的检测结果(图 7a),经比较分析得出:在公式(2)检测结果中,试验训练区内检测出的云量随纬度发生变化,较高纬度云量偏多,较低纬度云量偏少,与公式(1)中纬度影响的结果相反;总体来说大部分的云被检测出来,但也有部分稀薄的云体未被提取,总云量偏少。另外,在阈值饱和的情况下,图像中的沙漠难以通过该方法从云区剔除,由此将沙漠作为目标物加入云检测的研究范围,以便在设计其他检测方法时考虑排除沙漠的干扰。

此外,从分布概率图 5c、d 可以看出,沙漠地区的红外一和红外二的灰阶值具有很好的相关性,而且有相当一部分云和沙漠采样像素点($IR1-IR2$)的范围重合,其中沙漠地区 $IR1-IR2 \geq 0$ 的像素点占采样样本的 54.60%,所以利用红外分裂窗之差建立的公式(2)不能剔除沙漠。但是,由于沙漠和云在红外分裂窗的可分性较大(见图 5a),且在两通道中选择波长较短、对大气辐射影响较大的红外一通道,由此来链接一个针对排除沙漠干扰的检测阈值 c_3 ,同时考虑了水汽通道的影响,可以将公式(2)改进如下:

$$\{[(C_{h3} - C_{h4}) \geq c] + [(C_{h3} - C_{h4}) \leq c']\} \wedge (C_{h2} > c_2) \wedge (C_{h3} > c_3'), \quad (3)$$

式中, C_{h2} 为水汽通道的辐射亮温所对应的灰阶值, C_{h3} 为红外一通道的辐射亮温所对应的灰阶值, C_{h4} 为红外二通道的辐射亮温所对应的灰阶值, c 和 c' 与公式(2)中的相同, c_2 是常数,随太阳高度的变化不大, c_3' 是与太阳高度角和地理位置有关的常数。

公式(3)的检测结果(图 7c)与公式(2)的检测结果(图 7b)相比较来说(见图 8a,白色为检测结果的差异,图左侧的白点较集中的地区为检测中排出的沙漠),利用该方法剔除了沙漠在检测过程

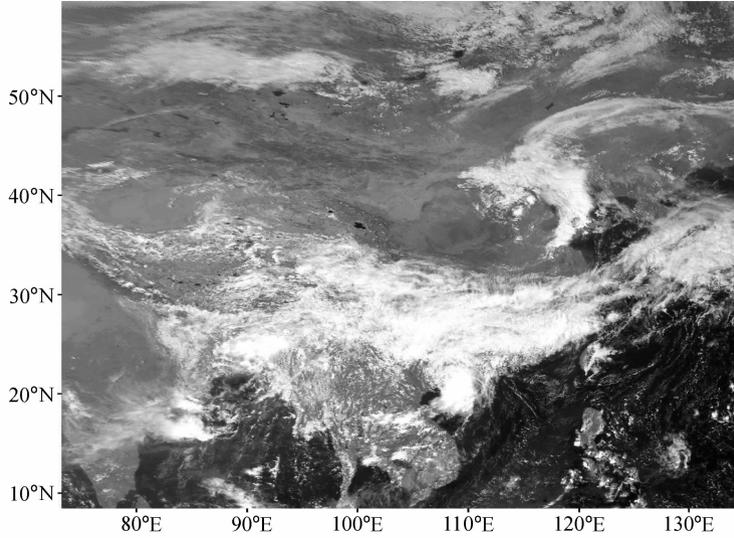


图 6 2002 年 9 月 27 日 13:32 时 GMS-5 的可见光云图
Fig. 6 Visible image of GMS-5 at 1332 LST 27 Sep 2002

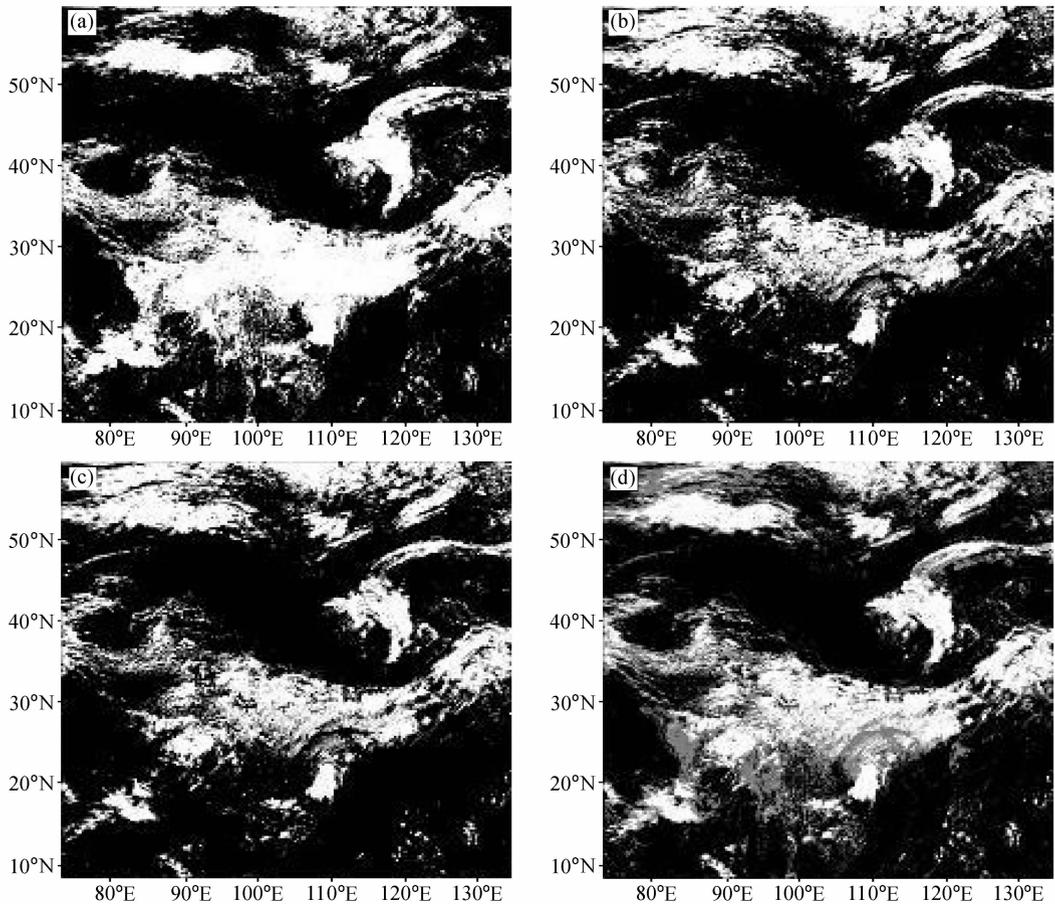


图 7 四个云检测公式的云检测结果：(a) 公式 (1)；(b) 公式 (2)；(c) 公式 (3)；(d) 公式 (4)。图中白色或灰白色的部分为检测出的云体
Fig. 7 The cloud detection results from (a) algorithm 1, (b) algorithm 2, (c) algorithm 3, (d) algorithm 4. The white or offwhite pixels in the figures are results of cloud detection

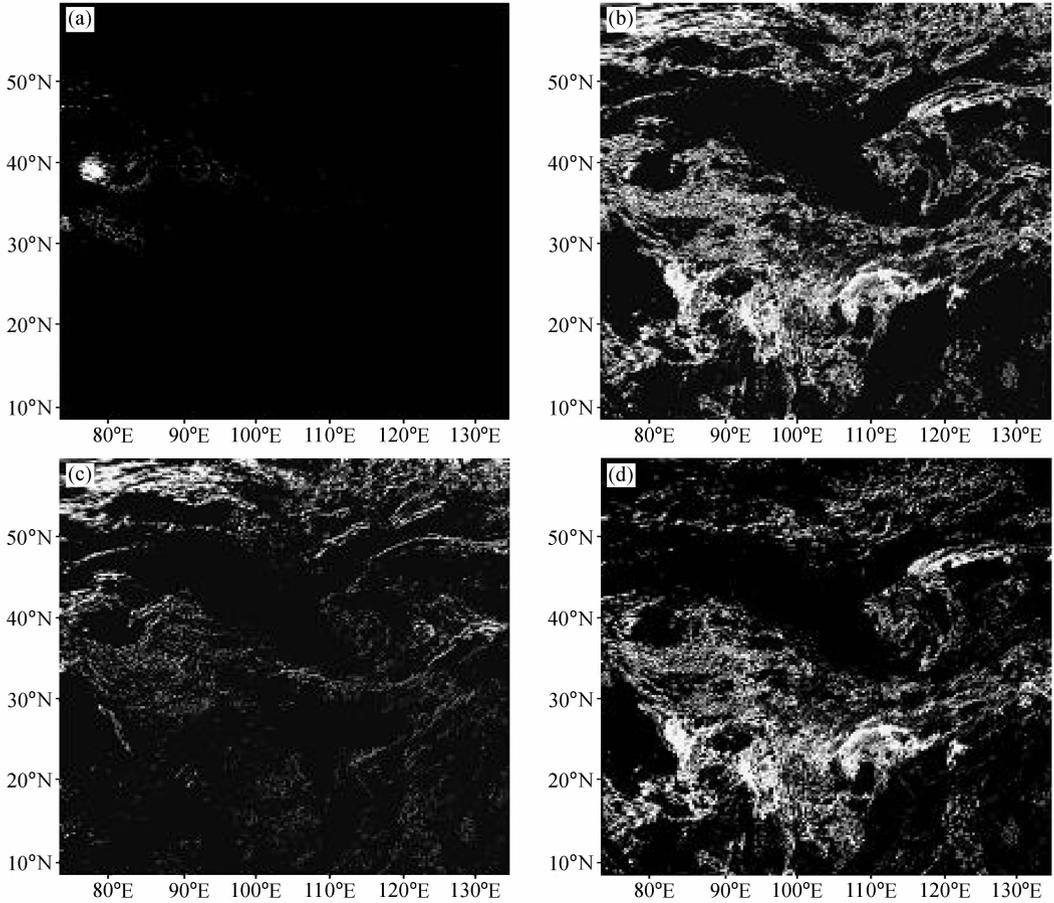


图 8 四个公式的云检测效果的差异: (a) 公式 (2) 和公式 (3) 之间的差异; (b) 公式 (1) 和公式 (3) 之间的差异; (c) 公式 (1) 和公式 (4) 之间的差异; (d) 公式 (3) 和公式 (4) 之间的差异。图中白色部分为各种云检测结果的差异

Fig. 8 Differences between the results from the four algorithms: (a) Difference between algorithm 2 and algorithm 3; (b) difference between algorithm 1 and algorithm 3; (c) difference between algorithm 1 and algorithm 4; (d) difference between algorithm 3 and algorithm 4.

The white pixels in the figures are the difference between different algorithms of cloud detection

中的干扰,可以检测出大部分的云体。但是因为公式 (3) 是建立在公式 (2) 的基础上,所以公式 (3) 的检测效果也继承了公式 (2) 的缺点,例如:测出的云量低纬度区云量偏少,中高纬度区云量偏多,总体云量偏少。纬度变化对公式 (3) 检测的影响与公式 (1) 的相反[图 8b 是公式 (1) 与公式 (3) 检测结果的对比,白亮部分为两方法检测结果的差异]。

由于太阳高度角的变化会引起物体在图像中的灰阶值变化,所以用通道阈值法云检测需要根据太阳高度角的变化确定多个阈值,而利用红外分裂窗通道差值结合水汽通道的检测方法则是减弱了太阳高度角对云检测带来的影响。另外,该方法不依赖可见光通道的数据就可以得到很好的检测效果,可

应用在夜晚无可见光云图的情况下进行卫星资料的云检测。

3.3 通道综合运算云检测公式的建立

通过比较云检测结果(图 7a、c)发现,公式 (1) 和公式 (3) 检测出的云量受地理位置的影响相反,可根据这两个公式检测结果的互补性,将两者融合建立通道综合运算云检测公式。在通道和阈值都确定的前提下,不同的检测公式会带来不同的效果。经过多次实验,应用效果较好的检测关系如下:

$$[(C_{h3} - C_{h4}) > c] \wedge (C_{h1} > c_1) \wedge (C_{h2} > c_2) \wedge (C_{h3} > c_3) + (C_{h1} > c_1') \wedge (C_{h3} > c_3'), \quad (4)$$

式中, C_{h1} 是可见光通道的反照率所对应的灰阶值, C_{h2} 是水汽通道的亮温所对应的灰阶, C_{h3} 是红外一

通道的辐射亮温所对应的灰阶值, C_{ht} 是红外二通道的辐射亮温所对应的灰阶值, c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_1' 和 c_3' 为常数。其中, c_1 、 c_2 分别是可见光、水汽通道的检测阈值, 是与地理位置有关的常数, 主要对高纬度的云检测结果起调节作用; c_3 是红外一通道的检测阈值, 在排除沙漠的干扰时起重要作用; c_1' 和 c_3' 分别是与可见光和红外一通道有关的常数; c 是与红外分裂窗有关的常数。“ \wedge ”表示逻辑乘。

由于公式(1)和公式(3)的检测效果有随纬度变化而产生反向影响的特性, 所以两者融合后建立的公式(4)在检测结果中会减弱纬度变化带来的影响。在公式(4)的检测结果图(图7d)中有更多稀薄的云体被检测出来, 纬度变化带来的影响不大, 总云量与可见光云图基本符合。

比较上述几种云检测方法的结果可以看出, 公式(4)对总云量的提取效果最好, 改善了以前云检测工作中有逆温或低云状况下云被漏测的情况, 并且减弱了太阳高度角或地理位置的变化对云检测所产生的影响(如图8c、d)。同时, 可将云体按反射强度作简单的分割处理, 更直观地体现了云体结构。

4 讨论及结论

通过验证及比较分析发现, 常用的通道阈值法可取红外一和可见光两个通道的阈值, 但阈值要随着太阳高度角和季节的变化发生相应的变化, 这对云检测工作带来诸多不便。此外, 该方法存在着地理位置的影响, 即检测出的云量在中低纬度偏多而高纬度偏少。

本文设计了红外分裂窗通道差值检测方法, 在结合水汽通道阈值的条件下可应用于任何太阳高度角的情况。该方法检测效果显著, 但也不能排除地理位置的影响, 也就是检测出的云量中低纬度偏少而高纬度偏多, 与通道阈值法的检测效果比较来说影响正好相反。

在地理位置对前两种方法带来相反影响的基础上, 将它们融合建立了通道综合运算云检测方法。通道综合运算法不仅改善了地理位置的变化对云检测带来的影响, 而且可减弱太阳高度角的影响, 减少了检测过程中阈值变化的麻烦, 同时得到较好的检测效果, 检测结果与其可见光图像中的云区相比基本符合, 在三种方法中的检测效果最好。

另外, 在本研究过程中还发现: 在对GMS-5卫星云图的云检测中, 试用了多种方法都不能完全排除积雪对云检测的影响, 这对冬季或是常年积雪下垫面的卫星图像作云检测会带来很大的影响, 如何解决这个问题还需要进一步的研究。要建立更精确的云检测方法还需要进一步研究分析和讨论。

总的来说, 利用本文研究和设计的多通道运算进行云检测具有阈值少、方法简单、检测速度快、便于实施、可操作性强, 有较好的实用价值。

参考文献 (References)

- [1] 梅新安, 彭望球, 秦其明, 等. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社, 2001. 260pp
Mei Xin'an, Peng Wanglu, Qin Qiming, et al. *A Brief Introduce to Remote Sensing* (in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2001. 260pp
- [2] 赵英时, 陈冬梅, 李小文, 等. 遥感应用分析原理和方法. 北京: 科学出版社, 2004. 430pp
Zhao Yingshi, Chen Dongmei, Li Xiaowen, et al. *Remote Sensing Principles and Methods* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2004. 430pp
- [3] 方宗义, 刘玉洁, 朱小祥. 卫星云参数处理方法和1991年的云气候特征分析. 应用气象学报, 1994, 5(2): 135~142
Fang Zongyi, Liu Yujie, Zhu Xiaoxiang. A cloud parameters retrieval algorithm and cloud characteristic analysis over east Asia in 1991. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1994, 5(2): 135~142
- [4] 陈渭民. 卫星气象学. 北京: 气象出版社, 2003. 196~231
Chen Weimin. *Satellite Meteorology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 196~231
- [5] Goodman A H, Henderson-Sellers A. Cloud detection and analysis: A review of recent progress. *Atmospheric Research*, 1988, 21: 203~228
- [6] Simpson J J, Gobata J I. Improved cloud detection in GOES scenes over the oceans. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 52(2): 79~94
- [7] Choi H, Bindschadler R. Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. *Remote Sensing of Environment*. 2004, 91(2): 237~242
- [8] 师春香, 吴蓉璋, 项续康. 多阈值和神经网络卫星云图自动分割实验. 应用气象学报, 2001, 12(1): 70~78
Shi Chunxiang, Wu Rongzhang, Xiang Xukang. Automatic segmentation of satellite image using hierarchical threshold and neural network. *Journal of Applied Meteorology Science* (in Chinese), 2001, 12(1): 70~78
- [9] Peak J E, Tag P M. Toward automated interpretation of sat-

- ellite imagery for navy shipboard applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1992, **73** (7): 995~1008
- [10] Peak J E, Tag P M. Segmentation of satellite imagery using hierarchical thresholding and neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 1994, **33**: 605~616
- [11] 杨澄, 袁招洪, 顾松山. 用多谱阈值法进行 GMS-5 卫星云图云型分类的研究. 南京气象学院学报, 2002, **25** (6): 747~754
Yang Cheng, Yuan Zhaohong, Gu Songshan. Cloud classification of GMS-5 satellite imagery by the use of multispectral threshold technique. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2002, **25** (6): 747~754
- [12] 邱康睦, 王宝华, 吴晓. 气象卫星遥感海面温度的资料处理方法. 中国空间科学技术, 1992, **12** (1): 63~69
Qiu Kangmu, Wang Baohua, Wu Xiao. Processing method used for remote sensing data of sea surface temperature by meteorological satellite. *Chinese Space Science and Technology* (in Chinese), 1992, **12** (1): 63~69
- [13] 马建文, 赵忠明, 布和敖斯尔. 遥感数据模型与处理方法. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 17~23
Ma Jianwen, Zhao Zhongming, Buheaosier, et al. *Models and Methods to Processing of Remote Sensing Data* (in Chinese). Beijing: Science and Technology Publishing House of China, 2001. 17~23
- [14] 王丕浩, 刘宗义, 张开斗. 应用卫星气象学. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004. 43~71
Wang Pigao, Liu Zongyi, Zhang Kaidou. *Application of Satellite Meteorology* (in Chinese). Qingdao: China Ocean University Press, 2004. 43~71
- [15] 王立志, 李俊, 周凤仙. GMS-5 四通道云图的自动分类及其在定量降水估算中的应用. 大气科学, 1998, **22** (3): 371~378
Wang Lizhi, Li Jun, Zhou Fengxian. Cloud classification of GMS-5 data and its application in rainfall estimation. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1998, **22** (3): 371~378