

## FY-2 云检测中动态阈值提取技术改进方法研究

刘 健

(国家卫星气象中心,北京 100081)

**摘要:**针对固定分析区云检测阈值提取中存在的问题,采用滑动分析区和嵌套分析区的方法改进云检测阈值提取方法.个例分析表明,夏季多积云,较少出现大片层云覆盖情况,由基本分析区获取的有效云检测阈值为 49%,分析区调整为滑动分析区和嵌套分析区后,有效云检测阈值的比例提高至 78.7%;冬季易出现大片层云,且云雪混杂,由基本分析区获取的有效云检测阈值为 43%,分析区调整为滑动分析区和嵌套分析区后,有效云检测阈值的比例提高至 74.88%.分析结果说明,采用滑动和嵌套分析区的方法,可有效改善动态云检测阈值的提取比例,改进云检测效果.

**关键词:**云检测;动态阈值;分析区调整

**中图分类号:**P412.27 **文献标识码:**A

## IMPROVEMENT OF DYNAMIC THRESHOLD VALUE EXTRACTION TECHNIC IN FY-2 CLOUD DETECTION

LIU Jian

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To improve the dynamic cloud detection threshold value, moving and nesting analysis area methods were used to improve the dynamic cloud detection threshold method. Example analysis indicates that a lot of cumulus cloud always appears and there is little stratus in summer, and in this case the effective cloud detection threshold value obtained by basis fixed analysis area is 49%. The proportion of effective cloud detection threshold value is enhanced to 78.7% after adjusting basis analysis area to moving and nesting analysis areas. In winter, stratus is a dominate cloud system, and it is easy to be distinguished from snow. The effective cloud detection threshold value is 43% by basis fixed analysis area in winter. The proportion of effective cloud detection threshold value is enhanced to 74.88% after adjusting basis analysis area to moving and nesting analysis areas. The analysis results show that the proportion of effective cloud detection threshold value is effectively enhanced by using moving and nesting analysis area method and the accuracy of cloud detection is also improved.

**Key words:** cloud detection; dynamic threshold; analysis area adjustment

### 引言

云是影响气候变化的重要因素,它直接影响着地球系统的辐射收支,故而其一直是气象工作者研究的对象.自从发射了气象卫星,卫星资料就成为一种新的研究手段.当前,卫星资料已被广泛地用于研究云的各方面性质及其作用,并用于云参数的反演和云分析工作.

为了从卫星数据中取得比较准确的云参数或利用卫星资料进行云分析研究,首先要进行云检测,把有云的像元点判识出来.进行云检测的方法手段众

多,但以阈值方法为最基本最主要的方法.

阈值方法的发展是以确定阈值方法的发展、判识精度的提高为标志.阈值方法的基本原理是利用云与地物在可见光及红外通道上所表现出的反射率和亮度温度的明显不同设置阈值,进行云的检测.早期的阈值云判识方法采用单一通道、单一固定阈值做为判识条件,如单一可见光阈值判识或单一红外阈值判识,利用像元的探测值与阈值比较后的大小关系,将像元判识为云像元或晴空像元.随着卫星技术的发展,探测通道的增多,判识条件逐步发展,如今的阈值云判别方法已发展成为以多通道多阈值判

收稿日期:2009-08-22,修回日期:2010-01-25

Received date: 2009-08-22, revised date: 2010-01-25

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)(2009AA12Z150);公益性行业(气象)专项资助

作者简介:刘 健(1969-),女,江苏无锡人,研究员,主要研究方向为卫星遥感大气定量产品处理及其在天气气候分析中的应用,E-mail:liujian@cma.gov.cn.

识为主且动态确定阈值的云检测方法<sup>[1-9]</sup>。

动态云检测具有随不同区域、不同观测时间变化的特点. 动态云检测阈值的获取是依靠对一定区域中像元观测值的分析, 因此动态云检测阈值在具有较为灵活性优点的同时, 也受到分析区域性质(大小、下垫面类型及像元特性等)的限制. 从已有的研究可知<sup>[10]</sup>, 当遇到诸如所选取区域基本为云覆盖、下垫面类型复杂、区域内既有云又有雪等问题时, 对某一区域进行动态云检测阈值的提取往往会失败, 即使提取出了阈值, 其合理性也存在很大的疑问.

在对单一区域提取动态云检测阈值的基础上, 尝试采用滑动窗和嵌套窗方法改进云检测动态阈值提取方法, 并利用多年平均气候数据对所提取的云检测阈值的合理性进行检验, 从而提高云检测的准确性.

## 1 基础动态云检测技术

Alan<sup>[8]</sup>等人详细描述了云检测中动态阈值的提取方法, 刘希等<sup>[10]</sup>应用 Alan 的方法对 GMS 数据进行了云检测试验, 大部分云覆盖情况取得了较好的检测效果. 以直方图为分析基础的动态云检测阈值提取方法的基本假定是在一定区域中, 同时包含有云像元和晴空像元, 由于云像元和晴空像元的辐射特性具有明显差异, 使得两者在卫星探测通道上的辐射值有所不同, 在直方图上表现为不同的群落; 对直方图进行二次差分处理计算后, 二次差分曲线上就会出现若干个拐点, 从高温端开始的第一个拐点, 对应于晴空和云像元的分界点, 提取拐点对应的辐射值, 将此拐点的辐射值作为云像元和晴空像元的分界值, 即云检测的阈值<sup>[8]</sup>.

由动态云检测阈值提取方法可以看出, 提取方法是基于对一定大小区域数据的统计分析, 所提取的云检测阈值必然受到所选区域性质的影响. 刘希<sup>[10]</sup>等人分析了可能产生的原因, 并对海陆边界、像元区域大小、直方图平滑间距对云检测阈值提取的影响作了初步讨论.

## 2 动态云检测阈值提取方法的改进

在对一定大小区域的云检测动态阈值提取中, 对下垫面特征的处理上不仅应该考虑海陆差异, 而且应该考虑陆面类型和陆面高程<sup>[11]</sup>. 以青藏高原及周边地区为例, 在青藏高原的东北侧有塔里木盆地, 两者相邻地区的地理高程相差 3000 多米, 同样是晴

空条件下, 地表温度可相差十几度, 在区域直方图中也会出现两个相互分离的群落. 如果不考虑下垫面类型和地理高程, 就会将地理高程高的晴空像元误判为云像元. 此外, 还须考虑云区与分析区大小间的关系. 当云区的覆盖面积大于所选区域大小时, 由于没有明显的亮温或反射率的对比, 在直方图上, 经过二次差分处理后无法找到明确的拐点, 提取不出正确的云检测阈值. 鉴于以上情况, 在充分考虑下垫面类型和地理高程的前提下, 采用两种方法对动态云检测阈值的提取方法进行了改进.

### 1) 滑动分析区方法

为了尽量减小云检测阈值对选定区域的依赖性, 减少马赛克效应, 在选定某一分析区域后, 分别在区域的上下左右四个方向, 移动半个区域大小(如图 1), 在新形成的区域中做动态云检测阈值提取. 设在基本分析区 A 提取的云检测阈值为  $thre$ , 在移动分析区后提取的云检测阈值为  $thre_i, i = 1, 2$ . 经过分析区域的移动, 对于任何一个像元, 至少它处于包含基本分析区在内的三个分析区中, 有三个阈值. 则最终云检测阈值的选取原则可表达为:

$$\begin{aligned} |thre - thre_i| > a, i = 1, 2 \text{ cloud\_threshold} &= \text{MAX}(thre, thre_i) \\ |thre - thre_i| > a, i = 1, 2 \text{ cloud\_threshold} &= thre \end{aligned}$$

其中,  $a$  是平滑直方图处理中的辐射值分析间隔,  $cloud\_threshold$  为最后的云检测阈值.

### 2) 嵌套分析区方法

存在大片云区, 尤其是存在大片低云覆盖时, 即使对分析区域进行小范围的滑动处理, 也难以保证分析区中存在晴空像元. 为了弥补滑动窗区提取云检测阈值方法的不足, 进一步采用以基本分析 A 为中心, 在外层嵌套两个大小不同分析区的处理方法, 用以提取云检测阈值(图 2). 设由基本云检测阈值提取分析区提取的云检测阈值为  $thre$ , 嵌套分析区获取的云检测阈值为  $thre_i, i = 1, 2$ . 则最后选取的云检测阈值( $cloud\_threshold$ )与从三个不同大小分

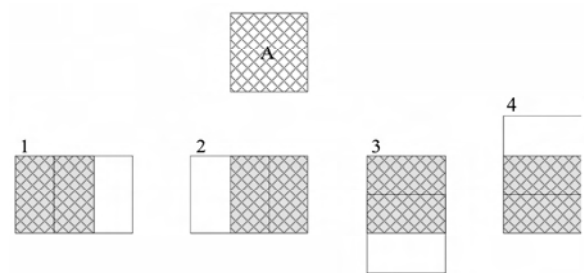


图 1 动态云检测阈值提取中滑动分析区示意图

Fig. 1 Sketch map of moving area to gain dynamic cloud threshold value

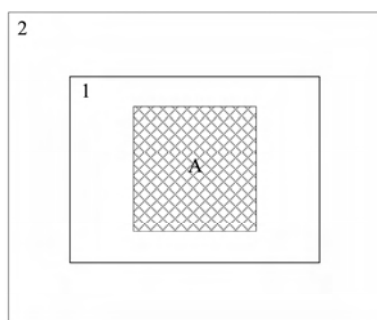


图2 动态云检测阈值嵌套分析区示意图  
Fig.2 Sketch map of nesting areas to gain dynamic cloud threshold value

析区中所提取的动态阈值  $thre$ ,  $thre_1$ ,  $thre_2$  间存在下述关系:

(1)  $thre$  最大, 且  $thre$  与  $thre_1$  和  $thre_2$  的差值大于一个直方图平滑处理时的间隔, 此时  $cloud\_threshold = thre$ .

(2)  $thre_1$  最大, 如果  $thre_1$  与  $thre$  的差值大于一个直方图平滑处理的间隔,  $cloud\_threshold = thre_1$ , 否则  $cloud\_threshold = thre$ .

(3)  $thre_2$  最大, 如果  $thre$  与  $thre_1$  相接近, 且  $thre_2$  与  $thre$  与  $thre_1$  中的大值间差值大于两个直方图平滑处理的间隔, 则  $cloud\_threshold = thre_2$ , 否则  $cloud\_threshold = MAX[thre, thre_1]$

通过上述方法获取的云检测阈值与由基本分析区获得的云检测阈值一样, 均需通过阈值的合理性检验<sup>[11]</sup>.

### 3 改进的动态云检测方法在 FY-2 云检测中的应用个例

以 2009 年 1 月 7 日 06 时 FY-2C 数据作为个例, 说明改进的动态云检测的提取及验证方法. 图 3 是以  $[32, 32]$  像元为基本动态云检测阈值提取分析区所提取的动态云检测阈值图像及采用滑动云检测阈值提取分析区技术后获取的动态云检测阈值图像. 与基本云检测阈值分析区提取的云检测动态阈值相比, 经过分析区的滑动处理, 82% 像元的云检测阈值发生了改变; 其中, 72% 像元的云检测阈值比滑动前提高了一个亮温直方图分析处理中的间隔值. 图 4 是以基本分析区为中心的两个嵌套云检测阈值提取分析区动态云检测阈值图像. 对比图 3、图 4, 可以看到云检测阈值提取分析区域越大, 相同类型的下垫面像元的云检测阈值越均匀, 如在最大的一层嵌套区(第二嵌套区)动态云检测阈值图中可以清晰地看到青藏高原的地形(图 4(b)); 云检测阈值

提取分析区越小, 云边界越清晰. 从第一个嵌套分析区(图 4(a))所获取的云检测阈值与基本分析区的云检测阈值相比, 32% 像元的云检测阈值的值域得到提高, 这些像元主要位于云的边缘, 以及云团覆盖超过基本云检测阈值分析区大小的地方. 表 1 是几类像元在不同云检测阈值提取分析区中所获取的云检测阈值对比举例. 可以看到, 对于完全晴空区, 云检测阈值提取分析区大小的变化对所获取的阈值影响不大; 对于较大的分析区, 由于像元个数增多, 下垫面类型增多(陆面), 所获取的云检测阈值会有所减小. 陆面上覆盖冰雪时, 只有在分析区很大时(第二嵌套区), 包含了多种下垫面/目标物类型, 造成了云检测阈值发生变化. 当基本云检测阈值提取分析区全部或大部分被低云覆盖, 利用基本分析区得到的合理云检测阈值较小, 当改变云检测阈值提取分析区后, 云检测阈值发生了较为明显的变化, 说明由于基本分析区较小, 基本被低云覆盖, 所获取的阈值实际反映的是低云云顶温度, 当分析区变化后, 分析区中包含了晴空像元, 因此云检测阈值提高. 对于洋面上有大片积云的情况, 经过变化分析区域的大小, 明显改变云检测阈值的大小, 使之准确地反映云和晴空像元间辐射的差异.

图 5 对比了利用经过变化分析区处理后获取的阈值进行云检测的结果与目前业务运行的结果. 所选的区域位于印度洋, 经过红外增强可以看到区域中不仅有成片的低云覆盖, 而且有零星破碎低云存在. 低云红外窗区通道亮温高于 288K, 成片的低云覆盖区云顶均匀, 其亮度温度方差小于 0.5, 有些甚至达到了 0.2 以下. 周边海域晴空洋面像元的亮温为 295K 左右. 在图 5 上选择一小区域(图 5 中白框所示), 分析了像元观测值、提取的云检测阈值和多

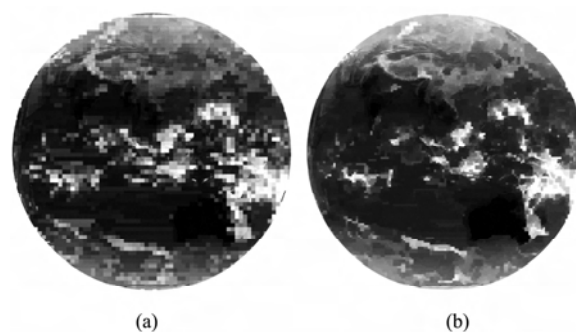


图3 FY-2C 动态云检测阈值图像 (a) 以  $32 \times 32$  像元为基本分析区 (b) 以基本分析区为中心的滑动区域  
Fig.3 FY-2C dynamic cloud threshold images (a) basic analysis area ( $32 \times 32$  pixels) (b) moving analysis areas

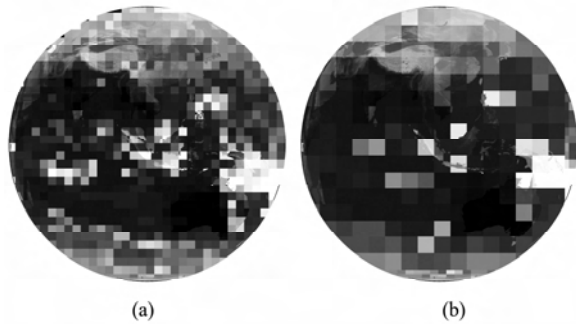


图4 FY-2C 动态云检测阈值图像 (a)以基本分析区为中心的第一嵌套区域 (b)以基本分析区为中心的第二嵌套区域  
Fig.4 FY-2C dynamic cloud threshold images (a) first nesting analysis area (b) second nesting analysis area

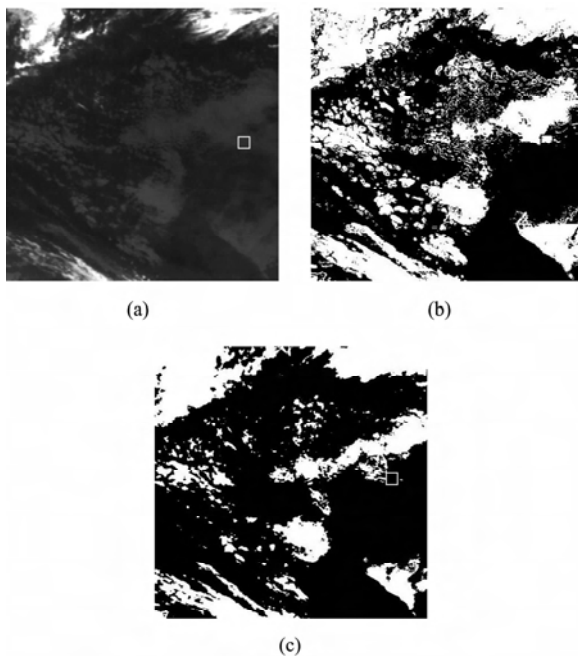


图5 FY-2C 云检测阈值改进前后的云检测结果对比 (a) FY-2C 窗区通道亮度温度图像 (b)通过分析区移动处理后的云检测结果 (c)业务运行的云检测结果  
Fig.5 Comparison of cloud detection results before and after adjusted dynamic cloud threshold (a) brightness temperature image of FY-2C window channel (at  $10.5\mu\text{m}$ ) (b) cloud detection result after adjusting analysis area (c) operational cloud detection result

年平均晴空亮度温度值间的关系:基本分析区提取的动态云检测阈值最小值为 288K,最大值为 292K,经过滑动分析区和嵌套分析区处理后,提取的动态云检测阈值为 294K,多年平均晴空亮度温度大于 300K.分析可知,如果只利用基本分析区提取的动态云检测阈值,则因为所有像元的观测值均大于阈值,在亮温方差很小的情况下,所有像元被判定为晴空像元,判识结果与现有云检测业务运行结果相同

表1 几类像元在不同分析区中获取的云检测阈值对比  
Table 1 Comparison of dynamic cloud threshold between different analysis areas for several kinds of pixels

分析区中 主要目标	基本分析区 阈值/K	滑动分析区 阈值/K	第一嵌套分 析区阈值/K	第二嵌套分 析区阈值/K
晴空陆面	301	303	293	293
晴空洋面	296	297	296	296
陆面低云	267	273	275	277
陆面冰雪	238	238	238	243
洋面低云	288	294	294	294
洋面积云	226	240	290	288
洋面薄卷云	290	292	292	296

(图5(c)).在引入提取阈值分析区再处理技术后,动态云检测阈值提升至 294K,联合使用多年平均晴空亮温数据后,原先全部被判识为晴空的像元就会有一部分被判识为云像元(图5(b)).对比红外亮温图像,被修正的云判识结果更能真实地反映云覆盖状况.

#### 4 结果与讨论

分别任意选取 2009 年 2 月和 2009 年 8 月中 4 天逐小时的云检测阈值改进前后的变化量做统计分析,2009 年 8 月的统计分析显示(图6),由基本分析区提取的合理云检测阈值平均比例为 48.9%,最小比例为 44%,最大比例为 56%.调整分析区后补充获得的云检测阈值平均为 29.7%,最终通过动态云检测技术获得的合理的动态云检测阈值平均为 78.7%,最高比例达到 83.7%.2 月中任意 4 天 24 个观测时次的基本分析区提取云检测阈值的平均比例为 43.1%,最小比例为 38.8%,最大比例为 47.1%,分析区调整后,补充的云检测阈值比例平均为 32.3%,最终获得的云检测比例平均为 74.88%,最高为 79%.由 2 月份和 8 月份的对比分析可知,在 8 月份,由基本分析区获得的合理动态云检测阈值比例高于 2 月份;经过分析区调整后补充获得的云检测阈值比例两个月的差异不明显,2 月份略高于 8 月;最终通过动态云检测阈值技术获取的可用于云检测的比例,8 月份比 2 月份高 5%,反映出在夏季,由于积云多发,大片层云覆盖整个分析区的比例较小,因此基于基本分析区的动态云检测技术可基本满足云检测阈值提取的需求.而在冬季,由于大片层云覆盖几率较高,加上云雪混杂,使得大部分基本分析区的云检测阈值提取困难.

上述分析表明,在 8 月份和 2 月份近 80% 的阈值具有合理性,说明近 80% 的像元可用动态提取的

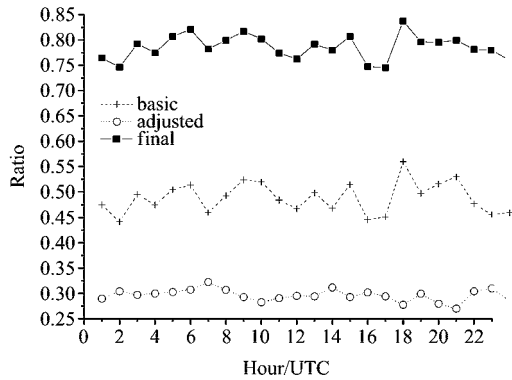


图6 2009年8月任意4天由基本分析区、调整分析区及最终提取的合理性云检测阈值平均比例随时间的分布  
Fig. 6 The relationship between proper cloud threshold proportion and hours of basic analysis area, adjusted areas and final result, statistic data come from 4 days in August 2009

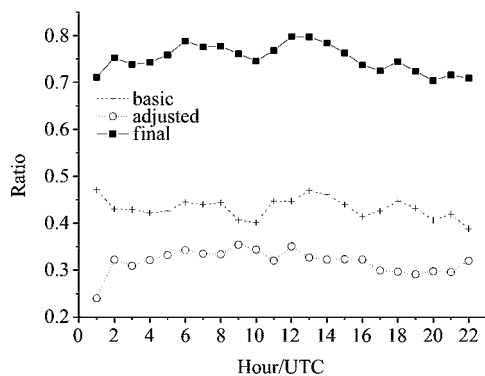


图7 2009年2月任意4天由基本分析区、调整分析区及最终提取的合理性云检测阈值平均比例随时间的分布  
Fig. 7 The relationship between proper cloud threshold proportion and hours of basic analysis area, adjusted areas and final result, statistic data come from 4 days in February 2009

阈值进行检测并获得合理结果. 剩余约20%的像元中的大部分是因为分析区中是完全云盖或完全晴空情况,使得利用动态阈值提取方法无法获取阈值,另一部分则是云和下垫面的辐射特性相接近,如逆温情况,即使可以通过动态云检测阈值提取方法提取出检测阈值,通过合理性检验证实也是不合理的云检测阈值.

## 5 结论

通过个例分析和统计分析表明,在单一分析区的动态云检测阈值提取方法的基础上,通过调整分析区,不仅可利用不同分析区获取云检测阈值修正由单一分析获取云检测阈值,还可有效提高动态云检测阈值的获取比例(尤其在冬季),从而提高云检测结果的精度.

## REFERENCES

- [1] Rossow W B. Measuring cloud properties from space. A review[J]. *J. Climate*, 1989, **2**(3): 201—213.
- [2] Rossow W B, Garder L C. Cloud detection using satellite measurements of infra-red and visible radiances for ISCCP [J]. *J. Climate*, 1993, **6**(12): 2341—2369.
- [3] Seze G, Rossow W B. Time-cumulated visible and infrared radiance histograms used as descriptors of surface and cloud variations[J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1991, **12**(5): 877—920.
- [4] Stowe L L, Vemury S K, Rao A V. AVHRR clear sky radiation data sets at NOAA/NESDIS[J]. *Adv. Space Res.*, 1994, **14**(1): 113—116.
- [5] Stowe L L, Davis P, McClain E P. Evaluating the CLAVR (Clouds from AVHRR) Phase I cloud cover experimental product[J]. *Adv. in Space Res.*, 1995, **16**(10): 21—24.
- [6] Saunders R W, Kriebel K T. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1988, **9**(1): 123—150.
- [7] Stowe L L, McClain, E, Carey P R, et al. Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data[J]. *Adv. Space Res.*, 1991, **11**(3): 51—54.
- [8] Alan V D V, William J E. An automated dynamic threshold cloud masking algorithm for daytime AVHRR images over land[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, **40**(8): 1682—1694.
- [9] VIIRS cloud mask (VCM) visible/infrared imager / radiometer suite algorithm theoretical basis document, 2002.
- [10] LIU Xi, XU Jian-Min, DU Bing-Yu. A Bi channel Dynamic Threshold Algorithm used in Automatically Identifying Clouds on GMS5 Imagery[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (刘希, 许健民, 杜秉玉. 用双通道动态阈值对GMS-5图像进行自动云检测. *应用气象学报*), 2005, **16**(4): 434—444.
- [11] LIU Jian. Cloud properties analysis and its application in FY - 2 cloud detection[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (刘健. 中国区域云特性分析及其在FY-2云检测中的应用. *应用气象学报*), 2009, **12**(6): 673—681.