

# 基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法研究

马慧云<sup>①</sup>, 王钊<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> 中南大学测绘与国土信息工程系, 长沙 410083;

(<sup>②</sup> 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710015)

**摘要:** 云雾本身具有的某种相似性造成它们分离检测的困难。国内外研究工作者基于云雾的色调特性差异和纹理特性差异进行了一定程度的云雾分离检测研究, 但仍未能很好地解决该问题。在分析气象专家判别云雾属性所应用的图像的 6 个基本特征的基础上, 本文首次基于云雾边缘高程特性差异进行云雾分离检测研究, 并选取 MODIS 传感器数据作为实验数据。实验结果表明: 该算法具有较强的稳定性和普适性, 但算法中的特征检测指标及特征检测指标的适用性需进一步改进。

**关键词:** 高程; 相似性; 云; 雾; 边缘

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.01.018

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)113-0087-05

## The Function of DEM in Separating Fog from Cloud Based on Remote Sensing Image

MA Huiyun<sup>①</sup>, WANG Zhao<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> Department of Surveying and Geoinformatics, Central South University, Changsha 410083, China)

(<sup>②</sup> Shanxi RSIC for Agriculture, 36 Beiguan Street, Xian, China, 710015)

**Abstract:** It is difficult to separate the fog from cloud because they have similarity in particle characteristics. Researches were done based on the difference of spectrum and texture characteristics between fog and cloud, but it is still a difficult question. An algorithm of separating radiation fog from cloud based on edge DEM of cloud and fog is developed. The indexes of DEM Features are determined based on MODIS data, the stability and universality of algorithm are verified based on validation data. According to the results, this algorithm has strong stability and universality except the determination of DEM Features and indexes of DEM Features.

**Key words:** DEM; comparability; cloud; fog; edge

### 1 引言

遥感的优势在于能以不同的时空尺度不断地提供多种地表特征信息, 这对传统的以稀疏离散点为基础的对地观测手段是一场革命性的变化。当今遥感技术发展迅速, 使得快速、及时、动态检测和评估大雾发生范围成为可能。云层和雾层均由粒子尺度和粒子密度在一定范围的水滴组成, 位于地球大气

层中, 云层一般离地面较高, 而雾及地向上发展。在气象学上, 云及地即为雾, 而雾抬升则形成低云, 云雾在某种程度上可以相互转换<sup>[1]</sup>。云雾本身具有的某种相似造成云雾分离检测成为基于遥感影像雾检测中的难点。在 20 世纪 70 年代气象专家就开始利用卫星云图分离检测云雾。随着 SMS-1 气象卫星、GOES 系列卫星、NOAA 系列卫星、MODIS 传感器系列卫星和 FY 系列卫星等的陆续发射, 越来越多

收稿日期: 2009-09-22    修订日期: 2010-05-25

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(40901171)和武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室基金项目(WKL(07)0102)。

作者简介: 马慧云(1979-), 女, 主要研究领域为遥感图像信息提取

**E mail:** lingzi\_2002@163.com

的如美国、英国、德国、日本和中国等国家的科研工作者开始基于遥感影像中云雾的色调特性差异<sup>[2-7]</sup>和纹理特性差异<sup>[8-10]</sup>进行雾检测研究,并取得一定的研究成果。但由于云雾种类繁多,某些种类云与雾的色调特性和纹理特性差异较小而难以区分,因此有待发现云、雾在遥感影像中的其他特征差异并将其有效运用到基于遥感影像的云雾分离检测中,以期解决基于遥感影像进行云雾分离检测中的困难。

## 2 现有基于遥感影像的云雾分离检测算法及其缺点

气象专家应用遥感影像进行云雾分析的根本依据是图像识别<sup>[11]</sup>。利用遥感影像进行图像识别一般根据图像的6个基本特征:色调、纹理、结构型式、边界形状、暗影和范围大小。目前多以遥感影像中云雾的色调特性差异和纹理特性差异为基础进行云雾分离检测研究。

### 2.1 基于色调特性差异的云雾分离检测算法及其缺点

色调也称亮度或灰度,它指的是卫星图像上目标的明暗程度。云雾的色调差异是识别云雾的重要依据之一。云粒子与雾粒子在可见光波段具有相同的M氏散射,故云雾在可见光波段反射率差异不很明显。在红外波段,云雾粒子的辐射特性随波长不同而不同。在长波红外波段LIR(11 $\mu\text{m}$ 左右),卫星得到的辐射值主要是目标物自身的发射辐射,其反射的太阳辐射可以忽略不计。下垫面目标物的温度相对于云雾而言是最高的,中高云由于高度较高而导致云层顶部温度较低。由于雾顶具有稳定的逆温层,且雾层一般贴近地面,因此雾顶温度与地表温度十分接近,在冬季甚至可能超过地表温度。如果将辐射值通过普朗克公式转化为亮度温度,则下垫面具有最高的亮度温度,雾区次之,云区最低。因此部分研究者基于云雾在LIR波段的亮度温度差异设定阈值对其进行分离检测。短波红外波段SIR(3.7 $\mu\text{m}$ 左右)位于太阳辐射光谱曲线与地球大气辐射光谱曲线相交处,所以在白天云雾层不仅自身向上发射辐射,而且还反射太阳辐射。1973年Hunt从理论上计算得到<sup>[12]</sup>,不透明水云如雾或低层云在SIR波段的比辐射率明显小于其在LIR波段的比辐射率,两者的差异造成云雾在SIR波段和LIR波段亮度温度差异,而陆地和海洋没有这种差异,因此研究者基于云雾在该两个波段的亮度温度差异进行了一定程度的云雾分离检测研究。

基于云雾色调特性差异进行云雾分离检测的主要依据是云雾在红外波段具有一定程度的亮度温度差异。但对某些种类云,其亮度温度与雾具有一定的重合甚至亮度温度相差不大,造成二者难以基于亮度温度分离检测,主要原因为云雾种类繁多。红外波段中云雾的亮度温度差异主要取决于云雾顶部的高度差异,若雾顶高度超过影像中的云顶高度或二者具有一定重合,则亮度温度的判别就会出现失误。此外,中国幅员辽阔,地形起伏较大,红外波段的亮度温度与纬度和绝对高程息息相关,如单幅遥感影像中,发生大雾区域跟产生云区域距离相差较远或二者绝对高程相差较大,则会因地理位置差异导致难以基于亮度温度差异辨别云雾,同时基于亮度温度进行云雾分离检测算法的阈值跟所使用的传感器及季节等息息相关,可移植性较差。

### 2.2 基于纹理特性差异的云雾分离检测算法及其缺点

纹理表示云雾顶部表面的光滑程度。遥感影像中雾和云的纹理有所不同,雾区纹理较均匀,雾顶光滑、边缘较清晰。而云类,特别是中、高层云由于云顶高低错落起伏较大而显得灰度变化幅度很大、纹理散乱、边界不规则。鉴于云雾纹理结构具有一定的差异性,部分研究者基于云雾的纹理特性差异进行了一定程度的云雾分离检测研究。

基于云雾纹理特性差异进行云雾分离检测,对于部分云雾具有较好的效果。但对于某些种类云则较难分离检测<sup>[8,10]</sup>。原因有两个:一为云种类较多,部分种类云(如层云)顶部较为平整<sup>[11]</sup>,纹理特性不明显,造成计算所得的纹理值与雾计算所得的纹理值接近,甚至比雾计算所得的纹理值还低;二为纹理计算结果跟所选择的纹理计算算子息息相关,云种类繁多,某些云(如卷层云)内部纹理结构单元较小,某些云(如高层云)内部纹理结构单元较大,而对于某些种类云(如积云和浓积云),不是所有的像素均具有相同的纹理特征<sup>[11]</sup>,因此算子的尺度选择具有很大的不确定性,造成基于纹理特征的云雾分离检测具有一定困难。

## 3 基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法

气象专家进行云图分析时,除根据云雾的色调特性差异和纹理特性差异进行云雾识别外,云雾的边缘特性也一直为云雾识别的一个重要依据。遥感影像中云雾的边缘形状是不同的,要区别图像上的

目标是云雾还是地表,或者识别云雾的种类,边缘形状是重要依据。边缘形状跟云雾的形成机理具有一定的关系。云易受各种尺度天气系统的影响,边界破碎、零乱。而雾由于接地性,易受地表性质的影响,常受地形制约表现出与地形特征匹配的边缘特性,云则无此特性。常规气象观测站点由于观测密度较低,难以对该特性进行定量化描述。遥感卫星观测不同于传统的气象观测,其具有的大范围,全局和由上及下的观测方式,可以快捷方便地得到云雾区域的完整影像,对该特性的定量化描述具有一定的帮助。云雾边缘特性不以时间和传感器的变化而变化,因此基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法具有较强的可移植性。

基于云雾边缘形状中云雾边缘高程特性差异,本文提出基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法。算法分为以下6步(算法流程图见图1):

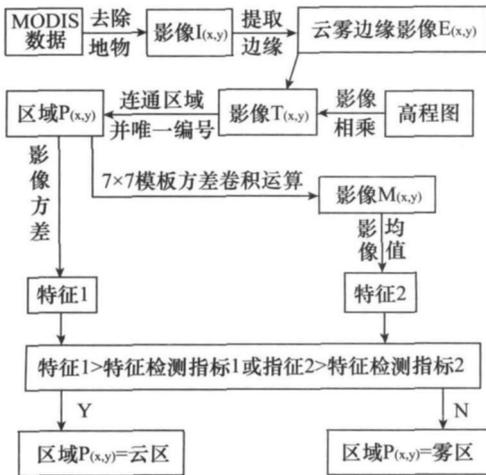


图1 算法流程图

- (1) 基于 MODIS 数据去除影像中的地物,得到影像  $I(x,y)$ ;
- (2) 提取云雾边缘,获得云雾边缘影像(二值化表示)  $E(x,y)$ ;
- (3) 影像  $E(x,y)$  与中华人民共和国 DEM 栅格影像图(格网间距  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 、高程精度  $25\text{m}$ ) 相乘得到云雾边缘高程,获得影像  $T(x,y)$ ;
- (4) 根据连通性,将影像  $T(x,y)$  划分为不同的区域  $P(x,y)$ ,并对各个区域进行编号;
- (5) 对各个区域计算区域边缘高程特征值。本

表1 试验数据

地区	华北		华中				西南		西北	
日期	01- 01 11:07	02- 02 11:07	01- 13 11:32	01- 20 11:38	11- 13 11:31	02- 13 10:49	01- 10 11:01	01- 20 11:38	02- 04 10:55	02- 08 10:31

文选取两个特征表示区域边缘高程特性: ①由于雾边缘高程与等高线较为吻合,因此雾边缘高程变化较小,如该区域为雾区则影像  $P(x,y)$  方差较小,如为云区则无此特性,因此本文选取影像  $P(x,y)$  方差作为特征1,即特征  $1 = SD(P(x,y))$ ; ②根据雾形成机理,雾边缘相邻像素高程值变化较为缓慢,即相邻像素高程值变化较小,因此本文对影像  $P(x,y)$  进行  $7 \times 7$  模板方差卷积运算,得到影像  $M(x,y)$ ,如该区域为雾区,则影像  $M(x,y)$  中像素值变化较小,即影像均值较小,云区则无此特性,因此本文选取影像  $M(x,y)$  均值作为特征2,即特征  $2 = \text{MEAN}(M(x,y))$ 。其中:

$$M(x,y) = \frac{1}{7} \sqrt{T(7 \times 7) \cdot [P(x,y) - \frac{1}{49} T(7 \times 7) \cdot P(x,y)]^2}$$

$$T(7 \times 7) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(6) 根据特征检测指标1和特征检测指标2对各个区域进行属性判定。

### 4 算法验证

#### 4.1 数据的选择

本文选取 MODIS 传感器数据进行算法的验证。算法验证分为两步: 第一步是确定算法中特征检测指标; 第二步是对确定特征检测指标后的算法进行验证。本文选取10幅发生于2003年中国华北地区、华中地区、西南地区 and 西北地区的陆地辐射雾 MODIS 传感器数据(分布如图2)作为确定算法中特征检测指标的试验数据,详见表1。

本文选取22幅2003年实验区域内其他时相 MODIS 传感器影像(包括未发生大雾但有云的影像5幅、发生大雾且有云的影像14幅、发生大雾但无云的影像3幅)对算法的可行性和稳定性进行验证,并对其进行误差分析。其中22幅遥感影像验证数据见表2,分布图见图3。

表 2 验证数据

日期	01- 01	01- 17	02- 23	11- 04	11- 08	11- 12	11- 13	11- 29	12- 16	01- 03	01- 08
	11:07	11: 07	11:26	11: 37	11: 13	10:48	11: 31	11: 32	11:46	10: 55	11: 13
日期	01- 10	01- 12	01- 27	02- 02	02- 04	02- 11	11- 15	11- 22	11- 26	11- 30	12- 13
	11:01	10: 49	11:44	11: 07	10: 55	11:01	11: 19	11: 25	11:01	10: 37	11: 16

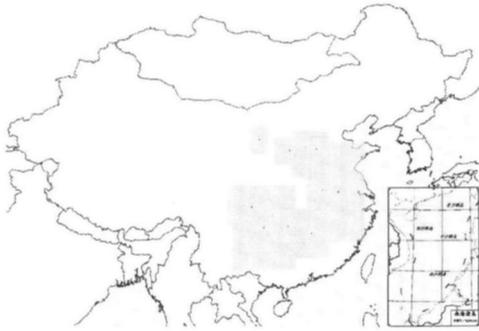


图 2 试验数据分布图

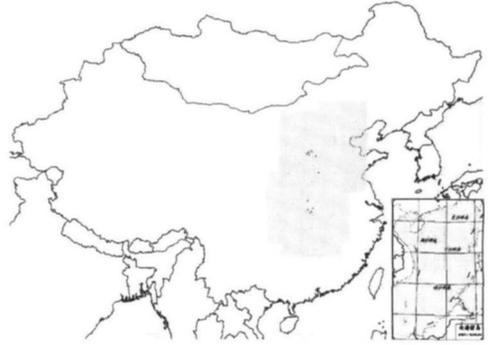


图 3 验证数据分布图

### 4.2 特征检测指标的确定

本文通过陕西省气象局提供的地面观测数据在试验区域内选择发生云雾区域各 10 个(云区 10 个,

编号: 1- 10; 雾区 10 个, 编号: 1- 10), 对特征检测指标进行确定。各云雾区域计算所得的特征 1 和特征 2 值详见图 4。

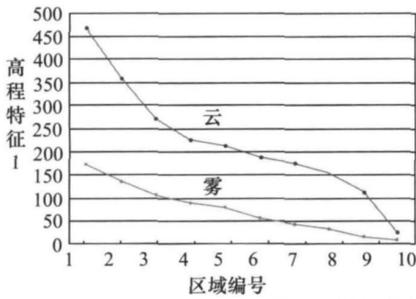
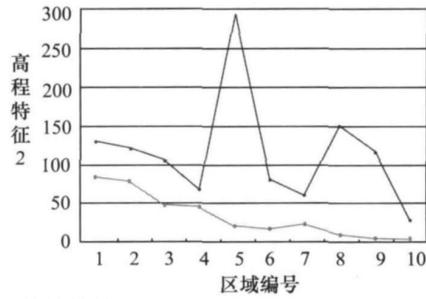


图 4 试验数据特征值计算结果



由图 4 可知:

①云区边缘高程变化较大, 特征 1 最大达 475m, 60% 的云区特征 1 大于 175m, 40% 的云区小于该值。相比较而言, 雾区边缘高程变化较小, 100% 的雾区特征 1 小于 175m。计算结果进一步表明雾区边缘与等高线具有一定吻合度, 部分云区亦具有该特性;

②云区边缘高程变化较大, 特征 2 最高达 292m, 60% 的云区特征 2 大于 100m, 40% 的云区小于该值。相比较而言, 雾区边缘高程变化较小, 100% 的雾区特征 2 小于 100m, 60% 雾区特征 2 小于 25m, 而仅有 10% 云区特征 2 小于 25m。计算结果进一步表明云雾边缘高程起伏状况相差较大, 雾区边缘高程起伏较小, 而云区则较大;

③特征 1 和特征 2 的计算结果表明, 云区边缘高程变化状况与边缘高程起伏状况相关性较小, 部分云区特征 1 较小, 而特征 2 较大。雾区二者相关性则较大, 特征 1 较大的雾区特征 2 计算值亦较大。

因此本文设置特征检测指标 1 为 175m、特征检测指标 2 为 100m。

### 4.3 算法的验证

据 3 节提出的基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法和 4.2 节确定的特征检测指标, 对验证数据中的区域(共 68 个区域)进行云雾属性判别。特征 1 和特征 2 计算结果见图 5。

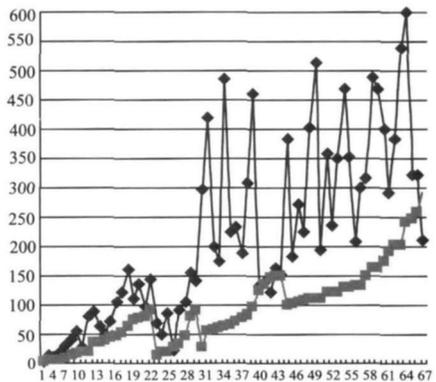


图 5 验证数据特征值计算结果

本算法检测结果与陕西气象局提供的地面观测数据对比结果见表 3。

表 3 结果验证

编号	1- 20	21- 28	29- 68
算法判别结果	雾	雾	云
地面实测结果	雾	云	云

由图 5 和表 3 可知:

①100% 发生大雾区域属性判别正确, 16.7% 的产生云区域误判为雾区。

②72.9% 云区特征 1 大于 175m。

③62.5% 云区特征 2 大于 100m。

## 5 结束语

遥感影像中, 云雾区域自成一体, 具有很强的整体性。气象专家进行云图分析时, 不仅需要考虑云

雾区域的色调特性和纹理特性, 还需要考虑云雾区域整体所具备的其他某些特性, 如云雾边缘特性。遥感影像中部分种类云与雾的色调特性和纹理特性相似, 造成基于云雾色调特性差异和纹理特性差异进行云雾分离检测的研究出现难以克服的困难, 且分离检测算法具有较强的传感器和时间限制。针对以上难点及云雾分离检测算法的普适性问题, 本文首次提出基于云雾边缘高程特性的云雾分离检测算法, 并利用 MODIS 传感器数据为试验数据对算法进行了验证, 结果表明该算法具有较强的稳定性和普适性。但本文中尚有 16.7% 的云区误判为雾区, 其原因在于算法的云雾边缘特征检测指标以整个试验数据范围为基础确定的, 事实上中国地形起伏较大, 雾边缘高程特性易受地表性质的影响, 因此有待对不同地形起伏状况下的特征检测指标进行进一步的研究, 以期更为精确地判别云雾属性。

## 参考文献

- [1] 孙奕敏. 灾害性雾[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [2] 李亚春, 孙涵, 徐萌. 气象卫星在雾的遥感监测中的应用与存在的问题[J]. 遥感技术与应用, 2000(4): 223- 227.
- [3] Jur ichi Kudoh, Shoichi Noguchi. Identification of Fog with NOAA AVHRR Image[C]. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991: 704- 709.
- [4] Jorg Bendix, frank Berthmann, Christoph Reudenbach. NOAA\_AVHRR and 4D GIS towards a more realistic view of fog clearance[C]. Geoscience & Remote Sensing Symposium, 1999: 2235- 2237.
- [5] M. Bachmann, Jorg Bendix. Fog detection in the Alpine Region with NOAA/ AVHRR[C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1991: 1713- 1716.
- [6] Jorg Bendix. Detection of Fog Horizontal Visibility by means of NOAA AVHRR.[C]Proc. of IGARSS' 95, 995: 1847- 1849.
- [7] 纪瑞鹏, 代付, 班显秀. NOAA/ AVHRR 图像资料在大雾灾害监测中的应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2004(2): 149- 152.
- [8] 李亚春, 孙涵, 徐萌, 张旭晖. 计盒维数法在云雾遥感监测中的应用研究[J]. 科技通报, 2003(1): 29- 31.
- [9] 王淑华, 赵宇明, 周小四, 周红妹. 基于灰度连通域加权分数维的云雾自动分离算法[J]. 红外与激光工程, 2002(1): 18- 22.
- [10] 陈伟, 周红妹, 袁志康, 葛伟强. 基于气象卫星分形纹理的云雾分离研究[J]. 自然灾害学报, 2003(2): 133- 139.
- [11] 王丕浩, 刘宗义, 张开斗. 应用卫星气象学[M]. 中国海洋大学出版社, 2004.
- [12] Eyre J R, Brown scombe J L, Allam R J. Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer imagery [J]. Meteorology Magazine, 1984(113): 266- 271.

## 2010 年度国产空间信息系统软件测评表彰会在北京召开

2011 年 1 月 13 日, 国家遥感中心在北京举办了 2010 年度国产空间信息系统软件测评表彰会。科技部曹健林副部长、原科技部部长徐冠华院士、中科院遥感所童庆禧院士、武汉大学李德仁院士以及国家遥感中心张国成主任等领导专家出席了会议, 并为获得表彰的 21 个国产空间信息系统软件开发单位颁发了奖牌。测评专家和获得表彰的国产空间信息系统软件开发单位代表等参加了会议。受科技部高新司委托, 国家遥感中心根据中国合格评定国家认可委员会(CNAS)规范要求, 全面完成了 2010 年度国产地理信息系统(GIS)软件、遥感(RS)软件及全球导航定位系统(GNSS)软件的集中测评工作。在测评专家委员会的指导下, 通过测评工作管理创新成立的测评工作管理理事会, 共组织了 49 位科研一线专家约 160 人次开展集中测评, 并针对 44 个软件编写了 35 个专业应用软件测评大纲, 还对地理信息系统和遥感图像处理系统平台软件进行了大纲修订和测试题目编写。参加本年度测评的软件共有 44 个, 涉及 30 家软件开发单位, 其中 9 家开发单位是第一次参加测评, 占 30%; 44 个参测软件中有 24 个软件是第一次参加测评, 占 55%。根据测评专家按照软件测评大纲和测试题目对每个软件现场测试结果, 经测评专家委员会核查、测评工作理事会核定和国家遥感中心审定, 37 个软件通过了本年度软件测评, 其中 21 个软件获得了表彰。这 21 个国产空间信息系统优秀软件, 代表了我国目前国产空间信息系统软件的水平, 是国产空间信息系统软件产业的骨干产品, 也是支撑地理空间信息产业发展的核心产品。通过年度测评和表彰, 有助于软件开发单位进一步提高软件水平, 完善软件功能, 积极开拓市场, 提高企业创新能力, 有效的引导和推动我国国产空间信息系统软件技术与产业的快速发展。