

### 3 结 语

考虑到传统动态监测方法存在的一些缺陷,本研究尝试使用了对组合图像进行交互式监督分类的多时相直接分类方法。这种方法不仅可以直接获得变化类型及其数量,而且可以避免分类后比较法对变化结果的夸大。但不足之处是需要通过大量的人工参与来确定研究区已经发生的土地利用变化种类,而这是较为繁琐的,有时甚至不得不反复比较,才能最终加以确定。

### 参 考 文 献

- 1 沙志刚. 数字遥感土地利用动态监测中的应用概述. 国土资源遥感, 1999(2): 7~11
- 2 范海生, 马蔼乃, 李 京. 采用图像差值法提取土地利用变化信息方法——以攀枝花仁和区为例. 遥感学报, 2001, 5(1): 75~80
- 3 甘甫平, 王润生, 王永江, 等. 基于遥感技术的土地利

用与土地覆盖的分类方法. 国土资源遥感, 1999(4): 40~45

- 4 Pilon P G, Howarth P J, Bullock R A. Anenhanced Classification Approach to Change Detection in Semi-arid Environment. Photogramm. Eng. Remote Sensing, 1988, 54: 1 709~1 716
- 5 Yuan D, Elvidge C D. NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D C. Area Experiments. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 166~178
- 6 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553~557
- 7 张炳智, 张继贤, 张 丽. 土地利用动态遥感监测中多源遥感影像融合方法比较研究. 测绘科学, 2000, 25(3): 46~50

第一作者简介: 张红, 博士生. 现从事遥感图像处理及应用研究.  
E-mail: hongzhangwh@163. com

## Application of Multitemporal Composition and Classification to Land Use Change Detection

ZHANG Hong<sup>1</sup> SHU Ning<sup>1</sup> LIU Gang<sup>2</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agriculture University, 1 Shizishan Street, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** This paper discusses the situation of digital remote sensing techniques which has been applied to monitor the land use dynamic change, and introduces the notion of land use dynamic monitoring by remote sensing. The land use change in Guangxi province in 2002 and 2003 is detected by using direct classification of composed multi-temporal MODIS images. The results show PCA bands can well inherit the original images to achieve better accuracy.

**Key words:** land use monitoring; change detection; multi-temporal composition

About the first author: ZHANG Hong, Ph. D candidate, majors in remote sensing image processing.

E-mail: hongzhangwh@163. com

(责任编辑: 晓平)

### 欢迎订阅 2005 年《地球空间信息科学学报(英文版)》

《地球空间信息科学学报》为我国惟一的英文版测绘专业学术期刊。其宗旨是: 立足国内, 面向国际, 通过发表具有创新性和重大研究价值的测绘理论成果, 促进国内外学术交流。本刊内容包括综述和展望、学术论文和研究报告、本领域重大科技新闻等, 涉及测绘研究的主要方面, 尤其是数字摄影测量与遥感、全球定位系统、地理信息系统及其集成等。收录本刊的数据库包括 CAS、PKU 等, 读者对象为测绘及相关专业科研人员、教师、研究生等。

本刊为季刊, 国内外公开发行。自 2005 年起, 本刊改为邮局发行, 邮发代号: 38-348, 国外代号: Q1556。A4 开本, 80 面, 定价 10 元/册, 逢季末月 5 日出版。漏订的读者可与编辑

部联系补订。

# 基于边缘特征的变化检测方法研究

方圣辉<sup>1</sup> 佃袁勇<sup>1</sup> 李 微<sup>1</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘 要:**提出了一种结合边缘特征和灰度信息的变化检测方法,该检测方法对于检测线状目标变化具有较好的效果,同时也能减小由于配准而产生的误差。试验结果表明了该方法的可行性。

**关键词:**边缘提取;变化检测;缓冲区检测

**中图法分类号:**TP751.1;P231.5

遥感图像的变化检测一直是遥感应应用研究的热点之一。从现有的资料<sup>[1~3]</sup>分析中可以看出,目前变化检测方法大体上可分为以下几类:一是基于不同时相图像灰度变化的比较,根据图像灰度的差别进行变化检测,如图像差值法、图像比值法和植被指数法。根据不同的应用,常见的有比值植被指数、归一化植被指数、变换植被指数等。二是在不同时相图像的灰度变化的基础上进行相关分析,利用分析的结果进行变化检测,如主成分分析法、分类后比较法、直接多时相分类法和光谱特征分析法。近年来,一些学者提出了许多新方法<sup>[4~11]</sup>。一些方法<sup>[4,7]</sup>不仅利用图像的灰度特征、形状特征、空间特征,而且利用了图像的纹理特征、结构特征,在处理算法上采用了小波变换、神经网络等;另一些方法<sup>[3,5]</sup>在对不同时相图像处理的基础上,再对处理后的图像进一步处理(如统计分析的分类、马尔可夫场的纹理分析),以确定其变化区域。

## 1 基于线性特征和灰度特征的变化检测算法

线状目标即能利用线条描述其形状的目标,包括道路、桥梁、机场、铁路、房屋类建筑等,是一类非常重要的目标<sup>[1]</sup>。

基于线性特征和灰度特征变化检测算法的基本思想是:利用边缘检测算子提取变化前后的两幅配准图像,检测出变化的线性特征;同时利用灰

度特征进行变化检测,得到变化区域的轮廓,将检测的线性特征和变化区域的轮廓特征综合得到最终的变化结果。

但由于影像接收条件、接收时间的不同以及大气条件、照射角度和土壤湿度等条件的不同,会造成影像之间灰度与对比度的差异,因此首先需要进行辐射校正<sup>[8]</sup>。本文使用直方图匹配进行辐射校正。

### 1.1 基于边缘特征变化检测

基于边缘特征的变化检测算法步骤如下。

1)提取边缘特征。选择 Canny 算子提取图像中的线性特征,因为 Canny 算子能在噪声抑制和边缘检测之间取得较好的平衡<sup>[1]</sup>。初步提取的边缘图像中存在一些短碎线段和杂乱线条,那些短碎线段不能反映线性体目标的轮廓,而杂乱线条是由不规则建筑或复杂的地表形状而产生的,需要剔除掉。本文采用了一些简单的统计特征(如均值和方差)来识别有大量杂乱线条的区域。消除完杂乱线条区域后,再去除小于一定长度(本文使用的长度阈值为 5 像素)的短线。

2)获得边缘差分图像。边缘差分图像由两幅边缘图像中非公共边缘部分所组成,使用基准图像和待检测图像的边缘来产生两幅边缘差分图像,一幅图像记录基准影像中存在而待检测图像中不存在的边缘,另一幅记录待检测图像中存在而基准图像中不存在的边缘。由于存在配准误差及图像间的差异而存在的边缘提取误差,导致即使是未发生变化的地物,实际表现的情况也可能

是空间位置和几何形状的不同,直接计算差分边缘图像效果不好。本文选择了缓冲区检测法,其思路如下:对基准图像上的检测边缘特征  $S$  以一定的缓冲距离构造缓冲区,以此缓冲区为范围对待检测图上的数据进行检测,判断待检测图上的地物与基准图上地物所形成缓冲区的关系,以确定变化检测的结果<sup>[6,7,9]</sup>。反之,在待检测图像上建立缓冲区,检测基准影像。图像缓冲区的生成以一个像素为单位,对所提取的特征向外扩充,形成缓冲区,因为影像的配准误差不超过一个像素,提取的特征偏移量应该在 1 个像素内。

3) 后处理获得变化边缘特征。在两幅边缘差分图像中,消除那些小于一定尺寸的线段或孤立点,将两幅边缘差分图像合并在一幅图像中,得到变化边缘特征。

1.2 基于灰度特征的变化检测

差值法是传统的灰度变化检测方法,由于考虑到只是提取变化检测后的变化区域轮廓特征,采用该方法进行灰度变化检测。

传统的影像差值法的表达公式如下:

$$DX_{ij}^k = X_{ij}^k(t_2) - X_{ij}^k(t_1) + C \tag{1}$$

式中,  $i, j$  为像素坐标值;  $k$  为波段;  $t_1, t_2$  为获取第一幅、第二幅影像的时间。本文对式(1)作了微小修改,以差的绝对值替代了原来的值:

$$DX_{ij}^k = |X_{ij}^k(t_2) - X_{ij}^k(t_1)| \tag{2}$$

差值后的影像灰度呈某种分布,据类别方差自动门限法,选择最佳阈值得到变化区域,然后采用轮廓提取方法得到变化区域的轮廓。本文采用简单的轮廓提取方法,即如果当前点的 8 邻域各像素值与中心像素的灰度值相同,就认为此中心点位于区域内部,将其从原图中挖去;否则,可以认为当前中心点位于影像的边缘,需要保留。依次对影像所有点进行上述搜寻,最终剩下的即是影像的轮廓。

1.3 得到变化的特征

在得到变化特征的过程中,采用了两幅图像连接边缘的方法。边缘检测得到的变化特征图像  $T_1$  有大部分的变化特征,以此图像为标准,以灰度变化检测提取的变化区域轮廓图像  $T_2$  来补充连接图像  $T_1$ ,即在图像  $T_1$  中把边缘连接成轮廓,当到达轮廓的端点时,就在  $T_2$  的 8 邻域中寻找可以连接到轮廓上的边缘。这样,算法将不断地在  $T_2$  中收集边缘,直到将  $T_1$  中所有的间隙连接起来。该方法有效地将灰度变化检测的结果补充到线性特征变化检测结果中,减少了间断的特征。

2 试验结果及分析

试验 1 图像数据是已配准好的 1987、1992 年 SPOT 数据,该数据是 256 级的灰度影像,大小为  $512 \times 512$ ,如图 1 所示。图 2 是提取变化的边缘特征图,其中图 2(a)是由基于线性特征和灰度特征的检测算法提取出来的变化特征,图 2(b)是由差值法结果提取的变化轮廓,图 2(c)是由相关系数法检测结果提取的变化区域轮廓。图 3 是将图 2 变化的特征叠加到 1992 年影像上的结果。对比图 3 可以看出,差值法检测的结果有很多干扰信息(图 3(b)中①),相关系数法检测结果中检测的新增道路太离散,且是单线的(图 3(c)中②),另外,对大面积住宅区的变化检测效果不好(图 3(c)中③)。而本文提出的方法可以准确地检测到新修道路及住宅区,干扰信息减少(图 3(a))。



图 1 1987 年和 1992 年 SPOT 影像  
Fig. 1 SPOT Images in 1987 and 1992

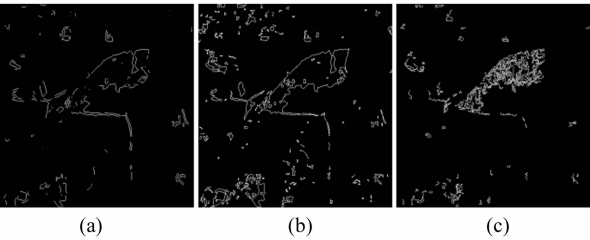


图 2 变化特征  
Fig. 2 Features of Change

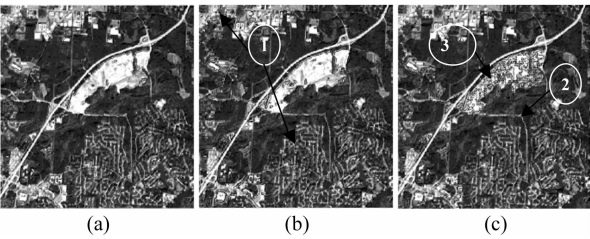


图 3 变化特征叠加到 1992 年影像后的结果  
Fig. 3 Change Features Overlap with the SPOT Image in 1992

算法比较:图 4(a)、4(b)、4(c)分别是差值法、比值法、相关系数法检测的结果。从图 4(a)、4(b)中④可以看到,由于配准误差的影响,检测的结果图中将道路也认为是变化区域。而图 4(c)中采用相关系数法,虽然没有这种情况,但检测的结果很离散、凌乱。本文提出的方法(见图 3(a))采用了缓冲区技术,减少了配准误差的影响,同时又将灰度检测结果综合到最后的检测结果中,保证了检测的变化区域的连通性。

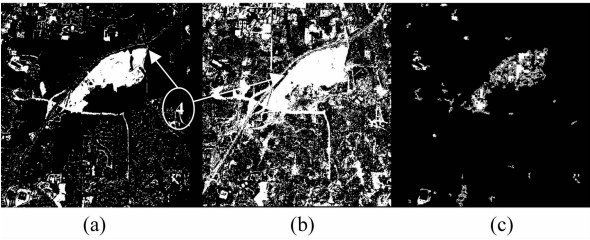


图 4 其他变化检测方法检测的结果

Fig. 4 Results from Other Change Detection Methods

试验 2 图像数据是已配准好的 1999、2002 年武汉地区的 SPOT 数据,为 256 级灰度影像,大小为  $256 \times 256$ ,如图 5 所示。图 6 是提取的变化的边缘,其中图 6(a)是由基于线性特征和灰度特征的检测算法提取出来的变化特征,图 6(b)是由差值法结果提取的变化轮廓,图 6(c)是由相关系数法检测结果提取的变化区域轮廓。图 7 是将图 6 变化的特征叠加到 2002 年影像上的结果。对比结果图 7 可以看出,差值法检测的结果有很多的虚假信息(见图 7(b)中①),同时检测的结果中还存在离散线条(见图 7(b)中②);相关系数法检测结果中检测的新增道路太离散,且是单线的(见图 7(c)中③)。另外对新建立立交桥的变化检测效果不好(见图 7(c)中④),检测的结果中也存在着虚假信息。而本文提出的方法可以检测到道路及立交桥的变化特征,干扰信息、虚假信息减少(见图 7(a)),但立交桥的检测效果也不是很

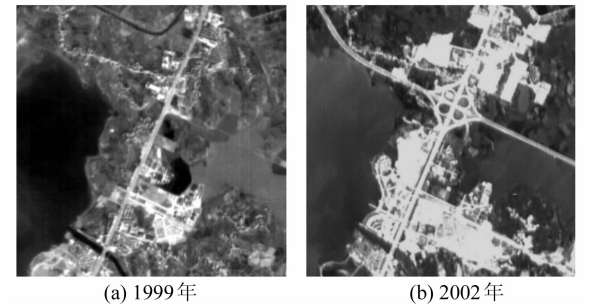


图 5 1999 年和 2002 年 SPOT 影像

Fig. 5 SPOT Images in 1999 and 2002

好,这是因为立交桥有一定的高程,而在检测时只把它当作了平面地物。

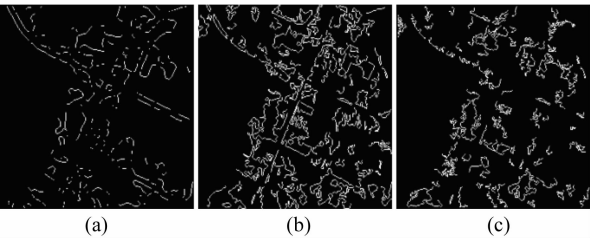


图 6 变化特征

Fig. 6 Features of Change

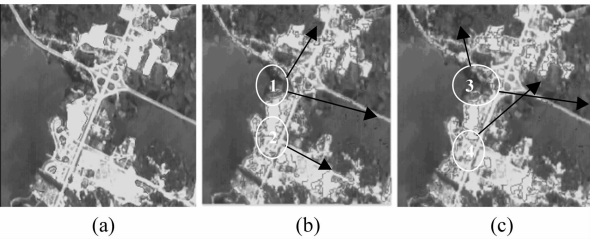


图 7 变化特征叠加到 2002 年影像后的结果

Fig. 7 Change Features Overlap with the SPOT Image in 2002

算法比较:图 8(a)、8(b)、8(c)分别是差值法、比值法、相关系数法检测的结果。由于受到拍摄条件的影响,原始图像左侧的湖泊在影像的灰度上发生了变化,但实际上该湖泊并没有变化。从图 8 可以看到,该地区都被不同程度地认为发生了变化。而本文提出的基于边缘的检测方法(见图 7(a))即能将这种虚假的变化剔除掉,原因在于湖泊的边缘形状没有发生变化。

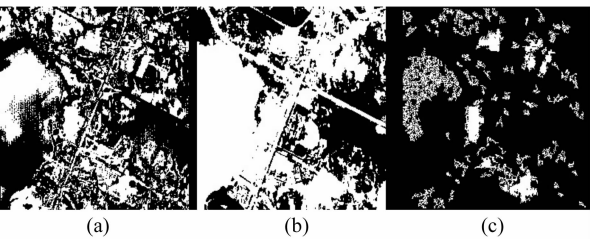


图 8 其他变化检测方法检测的结果

Fig. 8 Results from Other Change Detection Methods

从以上的试验分析中发现,基于线性特征和灰度特征的变化检测算法将灰度变化检测结果和边缘变化检测的结果综合起来,既能将两种检测方法的优点保留,又克服了匹配误差、拍摄条件变化等因素引起的虚假变化。但同时该方法也存在一定的局限性,受到边缘检测算子的影响,图 3(a)和图 7(a)中仍有一些断裂线条,这是因为用 Canny 算子检测的结果存在这些现象。



### 3 结 语

1) 基于边缘的变化检测方法不同于传统的基于灰度的检测方法,是一种全新检测线状目标的方法,它可以剔除掉由于拍摄条件(如光照条件)的变化而发生的虚假变化。

2) 由于采用了缓冲区技术,在检测中能够减少由配准误差产生的虚假变化的影响。

3) 采用两幅图像连接边缘特征的方法有效地综合了两幅图像中的变化特征,去除了噪声的影响。

试验结果表明,该算法能够有效地检测到线性目标(如新建道路、居民区及条状目标)的变化,显示了该算法进一步应用的潜力。今后还有待于针对不同的数据源和边缘提取方法进行更加深入细致的研究。

### 参 考 文 献

- 1 Rowe N C, Grewe L L. Change Detection for Linear Features in Aerial Photographs Using Edge-Finding. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(7): 1 608~1 612
- 2 Ma J W, Zhao Z M, Zhao G, et al. Automatic Change Detection of Artificial Objects in Multitemporal High Spatial Resolution Remotely. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 5(7): 3 356~3 358

- 3 Bruzzone L, Prieto D F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(3): 1 171~1 182
- 4 Gopal S, Woodcok C. Remote Sensing of Forest Change Using Artificial Neural Networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34(2): 398~404
- 5 Kasetkasem T, Varshnery P K. An Image Change Detection Algorithm Based on Markov Random Field Models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1 815~1 823
- 6 Li D R, Sui H G, Xiao P. Automatic Change Detection of Geo-spatial Data from Imagery. *Geo-spatial Information Science*, 2003, 6(3): 1~7
- 7 陈志鹏, 邓 鹏, 仲劲松, 等. 纹理特征在 SAS 图像变化检测中的应用. *遥感技术与应用*, 2002, 17(3): 162~166
- 8 倪 林, 冷洪超. 机场区域变化检测研究. *遥感技术与应用*, 2002, 17(4): 185~192
- 9 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测. *武汉大学学报·信息科学版*, 2003, 28(特刊): 7~12
- 10 眭海刚. 基于特征的道路网自动变化检测方法研究: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2002
- 11 符冉迪. 遥感图像变化检测和分类识别技术的研究: [学位论文]. 郑州: 信息工程大学, 2001

第一作者简介: 方圣辉, 副教授, 博士生。主要从事遥感图像处理、定量遥感等方面的教学和科研工作。  
E-mail: shfang963@sina.com

## Change Detection Based on Both Edges and Gray

FANG Shenghui<sup>1</sup> DIAN Yuanyong<sup>1</sup> LI Wei<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper presents a new method based on both linear features and gray information of image. Use the Canny algorithm to extract the edge of two different images, then, according to the edge and gray information, find the discriminate of the images. This method is suitable for urban change-detection using high-resolution satellite image. The result of the experiment shows that the method is feasible.

**Key words:** edge extraction; change detection; buffer detection

**About the first author:** FANG Shenghui, associate professor, Ph.D candidate, engaged in the researches on remote sensing images processing and analysis and quantitative remote sensing.

E-mail: shfang963@sina.com

(责任编辑: 晓 平)

# MODIS 干旱监测模型各参数权值分析

刘良明<sup>1</sup> 胡 艳<sup>1</sup> 鄢俊洁<sup>1</sup> 谭德宝<sup>2</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(2 长江科学院空间信息技术研究所,武汉市黄浦大道 23 号,430010)

**摘 要:**以湖北省 2003 年 6、7 月份的数据作为试验数据,MODIS 干旱监测模型采用最大连续有云天数、最大连续无云天数、无云百分比和昼夜温差,并分析各参数的显著性和独立性以及对干旱监测的贡献程度,从而确定各参数在模型中的影响权。结果验证了各参数的显著性和独立性,在没有地面数据验证的情况下,可认为其在模型中近似等权;利用最大连续有云天数、最大连续无云天数、无云百分比和昼夜温差就能很好地监测旱情。  
**关键词:**MODIS; 干旱预警模型; 云; 温差  
**中图法分类号:**P237.3; TP753

传统的干旱监测多用 NOAA-AVHRR、LandSat TM 等传感器资料,其研究角度也各不相同,如美国国家海洋大气局国家环境卫星数据和信息服务中心(NOAA NESDIS)采用 VCI(植被条件指数)和 TCI(温度条件指数)方法进行全球性的干旱监测和预报;宫德吉从环境供水和生态系统需水的角度来研究干旱<sup>[1]</sup>等。这些干旱监测方法最终都要通过某个参数来确定干旱级别,这些参数包括昼夜温差、云指数、归一化植被指数(NDVI)、归一化积雪指数(NDSI)、降水距平、灌溉区分类、前期干旱情况等。但由于干旱成因的复杂性,单一的参数未必能很好地监测干旱,MODIS 的干旱监测模型采用了比 NOAA-AVHRR、LandSat TM 等更好的数据源(MODIS 数据在监测干旱上有 NOAA-AVHRR、LandSat TM 无法比拟的优势<sup>[2]</sup>),将上述与干旱的成因有关的参数纳入到干旱模型,并根据其对干旱的贡献程度赋予一定的权值,提出了基于 MODIS 数据的干旱预警监测模型<sup>[2]</sup>。

由于干旱的发生具有一定的时域性和地域性,并且各种参数对干旱监测的贡献不一样,在实际应用中,往往不需要考虑所有的因素,或不能兼顾所有的因素。下面以湖北省 2003 年 6、7 月份的数据作为试验数据来分析模型中的参数。通过地面实际数据与试验检测结果的比较,可以直接

反映试验检测结果的可用性,并对干旱等级进行定量化。

## 1 MODIS 干旱监测模型采用的参数

在湖北省的干旱监测模型中,以月为监测周期,参数选定的原则是:参数对干旱预警是否有效;参数能否方便地获取。考虑到以上两点,本模型采用的参数为最大连续有云指数、最大连续无云指数、无云百分比和昼夜温差。

### 1.1 云指数

云指数<sup>[2]</sup>包括无云百分比(CFDR)、最大连续有云天数(CCD)、最大连续无云天数(CCFD)。不同类型的云对降雨会产生不同的效果,因而进行云检测时,只检测具有降水潜质以及遮蔽性较强的云。降水云的云顶温度一般很低,而非降水云的云顶温度较接近或略低于地表温度,热红外(MODIS 的 31 通道)亮温可以很直观地反映这种情况<sup>[3]</sup>。通过大量试验验证并摒弃了复杂的、传统的云检测算法,这里直接采用 MODIS 的 31 通道的亮温来完成云的检测。完成了云检测后,按时间段计算 CFDR、CCFD、CCD。对这几个参数进行干旱指数拟合(根据大量试验可以认为近指数关系),求取干旱指数,具体见表 1、表 2。

表 1 最大连续无云(有云)天数干旱指数设置(近指数关系)

Tab. 1 Drought Index of CCFD and CCD											
最大连续无云(有云)天数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	≥11
干旱指数(无云)	-2	-1.8	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.4	0.8	1.3	1.8	2
干旱指数(有云)	2	1.8	1.1	0.4	0	-1.0	-1.5	-1.7	-1.8	-1.9	-2

表 2 无云百分比干旱指数设置(指数关系)

Tab. 2 Drought Index of CFDR				
无云百分比≤0.30	0.3~0.5	0.5~0.7	≥0.7	
干旱指数	-2	$-4.4 \times (0.5 - \text{CFDR})^{1/2}$	$4.4 \times (\text{CFDR} - 0.5)^{1/2}$	2

1.2 昼夜温差

LST(地表温度)是地球表面能量平衡和温室效应的一个很好的指标,它是区域和全球尺度地表物理过程中的一个关键因子<sup>[4]</sup>。地表昼夜温差是本干旱预警模型中的重要参数。通过 MODIS 白天和晚上的数据可以计算昼夜温差。由于云顶温度较地面低,在有云情况下计算的温差不能反映其真实的地表温差,因此,在求取昼夜温差前,首先要剔除云。剔除云之后求取的温差很难覆盖整个区域,因而结果不能反映一个地区的情况。考虑到处理的是一段时间的数据,因此,可以对一段时间内的温差求平均,平均温差可以弥补云造成的影响。对于求取不到温差的地区,直接采用其他参数进行计算,即不考虑此处的昼夜温差的影响。昼夜温差干旱指数设置见表 3。

表 3 昼夜温差干旱指数设置

Tab. 3 Drought Index of TD				
TD	≤2	(2,7)	(7,12)	≥12
干旱指数	-2	$-(\text{TD} - 7)^2 \times 0.08$	$(\text{TD} - 7)^2 \times 0.08$	2

2 模型中各参数权的分析与确定

一个实用的干旱模型至少需要解决两个主要问题:模型中各参数是否对综合干旱指数有显著贡献;各参数对综合干旱指数的贡献到底有多大,从而确定模型中各参数的影响权。

本文采用 2003 年 6、7 月湖北省地区的数据作为试验数据(由于篇幅,表 4~表 6 中只给出了 6 月份的情况,但对 6 月份各表的分析及结论参照了 7 月份的情况)。针对各个站点采集的土壤湿度(20cm 深)以及昼夜温差、三个云参数(CCD、CCFD、CFDR)所确定的干旱指数进行分析(表 4),试图验证各参数的显著性和独立性(表 5),同时确定各参数的影响权。其中,土壤湿度数据为当月三个时段的地面观测数据的平均值,Temp\_

Diff\_DI、CFDR\_DI、CCD\_DI、CCFD\_DI 分别为根据上面查找表确定的干旱指数。

表 4 2003 年 6 月湖北省各站点由各参数得到的干旱级别与土壤湿度

Tab. 4 Drought Index of Parameters and Soil Moisture of Hubei Province in June, 2003					
站点名	土壤湿度	Temp_Diff_DI	CFDR_DI	CCD_DI	CCFD_DI
鄖西	57.7	2	0.98	1.8	1
天门	77.7	0.007	1.50	1.02	0.06
麻城	59.3	-0.09	1.87	1.8	0
谷城	80	0.34	0.44	1.8	-1.5
宜城	82	-0.11	1.32	1.8	0.8
随州	71	-0.13	0.98	1.1	0.4
房县	95.5	-0.25	-0.98	1.1	-1.5
荆州	80.5	-0.2	1.1	0.72	-1.5
英山	87.3	-0.74	1.28	0	-0.56
咸宁	98	-0.2	-0.11	0.4	-1.5
汉口	69.7	-0.44	1.21	1.1	-0.83
竹溪	93	0.11	-1.43	1.1	-1.8
钟祥	92	0	0.98	0	0.4
来凤	97.7	-0.52	1.13	1.57	-1.5

表 5 为 2003 年 6 月湖北省各个参数之间的相关性矩阵。从表 5 可以看到:① 各参数之间的相关性大都很小,一般均小于 0.60;② 温差与其他 3 个云参数之间的相关性极小,没有超过 0.10,连续无云天数和连续有云天数的相关性也不超过 0.25;③ 连续无云天数、连续有云天数与无云百分比之间的相关性相对稍高,但并不强相关。当两个参数之间的相关系数小于等于 75%时,两个参数的可区分性超过 95%<sup>[5]</sup>。因此,可以认为这些参数之间是相互独立的。

表 6 为 2003 年 6 月湖北省各个参数与实测土壤湿度的相关性以及由不同参数的组合与土壤湿度的相关性分析结果(表中“√”表示参数组合中考虑了这个参数,“×”则表示不考虑)。

表 5 2003 年 6 月湖北省各个参数之间相关性分析

Tab. 5 Relationships Between Each Parameters of Hubei Province in June, 2003				
	温差	连续有云天数	连续无云天数	无云百分比
温差	1	0.016	0.053	0.076
连续有云天数		1	0.192	0.430
连续无云天数			1	0.620
无云百分比				1

表 6 2003 年 6 月各参数与实测数据的相关性

Tab. 6 Relationships Between Parameters and Observed Data in June, 2003					
	TD	CCD	CCFD	CFDR	参数组合
	0. 64	0. 45	0. 54	0. 31	—
	✓	✓	✓	✓	0. 72
与土壤湿度	×	✓	✓	✓	0. 61
的相关性	✓	×	✓	✓	0. 68
	✓	✓	×	✓	0. 72
	✓	✓	✓	×	0. 73

从表 6 中可以得到如下结论:① 单个参数与地面实测数据的相关系数在 0. 30~0. 65 之间,均未能很好地反映实际的干旱情况,而各参数的组合指数与土壤湿度的相关性比任意单个参数的相关性都要高很多,这表明参考的各参数的独立性和重要性;② 对比各组合指数,参考所有的参数所得的结果较稳定,能更好地反映实际情况,这也正是本文所期望的结果,这在一定程度上验证了模型的正确性;③ 模型的各个参数与土壤湿度的相关性相差不大,且没有明显的规律,在没有地面数据的情况下,可以认为其近似等权。

在本模型中,各参数权的确定对结果有着直接的影响。权的确定可以考虑多种方法,如根据经验定权、根据数据的可信度定权或数学方法定权,这里采用数学方法定权。根据常识,某参数如果与土壤含水量的相关性强,表明其影响权大,反之亦然。由于各个参数之间的相关性不大,因此直接采用各个参数与土壤湿度的相关系数作为参考权。表 7 为湖北省 2003 年 6 月和 7 月份根据实测土壤湿度确定的干旱等级(SD\_DI)与模型计算得到的干旱等级(DI)的比较结果,EQ\_POWER 为等权计算所得的结果;REL\_POWER 为利用相关系数作为权计算所得的结果,其中干旱级别共分为 6 个等级:特湿 D<sub>0</sub>、湿 D<sub>1</sub>、正常 D<sub>2</sub>、轻旱 D<sub>3</sub>、中旱 D<sub>4</sub>、重旱 D<sub>5</sub>。

表 7 中,6 月份非等权的结果与土壤湿度具有相同结果的站点有 8 个(占 53%),相差一个干旱等级的站点有 7 个(占 47%),相差两个干旱等级的站点有 0 个(0%)。而等权计算的结果与土壤湿度比较的结果为:具有相同的结果站点有 6 个(占 40%);相差一个干旱等级的站点有 8 个(占 53%);相差两个干旱等级的站点有 1 个(7%)。7 月份非等权计算的结果与土壤湿度比较结果为:具有相同的结果站点有 7 个(占 41%),相差一个干旱等级的站点有 10 个(占 59%),相差两个干旱等级的站点有 0 个(0%)。7 月份等权计算的结果与土壤湿度比较结果为:具

有相同的结果站点有 6 个(占 35%),相差一个干旱等级的站点有 10 个(占 59%),相差两个干旱等级的站点有 1 个(6%)。从比较结果可以看出:① 利用参数间相关性作为模型权的结果比等权计算所得的结果的准确性高,能更好地反映干旱情况;② 虽然等权计算的结果的准确性没有利用相关系数作为权的结果的准确性高,但还是能在很大程度上反映干旱情况,因此,在没有地面数据的情况下,直接采用等权计算是可行的;③ 对于两种方法而言,相差一个干旱等级的站点都集中在没有旱情的过湿地区,模型得到的旱情等级大都高于土壤湿度得到的旱情等级,只有 2003 年 6 月份阳新例外,表明模型对过湿地区的敏感性较弱;④ 对于 6 月份有轻微旱情的郧西、大悟等地,模型能很好地检测出来,旱情等级越高,正确性趋势越好,表明模型对旱情有良好的敏感性。

表 7 6 月份和 7 月份各站点的土壤湿度与模型结果比较

Tab. 7 Drought Index of the Model and Soil Moisture in June and July, 2003							
站 点	6 月份			站 点	7 月份		
	SD_DI	EQ_POWER	REL_POWER		SD_DI	EQ_POWER	REL_POWER
郧西	D3	D3	D3	汉口	D2	D2	D2
麻城	D3	D3	D3	天门	D1	D2	D1
秭归	D2	D1	D1	郧西	D1	D1	D1
随州	D1	D2	D1	随州	D1	D2	D2
阳新	D1	D1	D1	麻城	D1	D2	D2
建始	D1	D1	D1	大悟	D1	D2	D2
天门	D1	D2	D2	秭归	D1	D1	D1
谷城	D1	D2	D1	咸宁	D1	D1	D1
荆州	D1	D1	D1	谷城	D1	D1	D1
应城	D1	D1	D1	阳新	D1	D2	D2
宜昌	D0	D1	D1	英山	D1	D1	D1
钟祥	D0	D2	D1	建始	D0	D1	D1
竹溪	D0	D1	D1	荆州	D0	D1	D1
房县	D0	D1	D1	宜城	D0	D2	D1
咸宁	D0	D1	D1	汉口	D2	D2	D2
				天门	D1	D2	D1

3 结 语

- 1) 对昼夜温差、CCD、CCFD、CFDR 这几个参数进行相关性分析,验证了各参数的显著性和独立性。并且对这几个参数与实测土壤湿度(20 cm 深)进行相关性分析,单个参数与实测土壤湿度相关性不强,不能很好地反映实际的旱情,但是考虑所有参数的组合与实测土壤湿度的相关性最好,在一定程度上证明模型纳入这些参数是必要的,也是正确的。
- 2) 比较了相关系数作为参考权和等权(对于无地面验证数据非常重要)两种情况对旱情监测

结果的影响。试验表明,相关系数权较等权的结果好,但是等权也能很好地反映旱情,这也说明在无实测土壤湿度(20 cm 深)数据确定相关系数的情况下,模型仍然可以用于旱情监测。

3) 本模型没有考虑土地覆盖类型等因子,但可考虑将其纳入到模型中,这方面还有待进一步研究。另外,在最终的监测结果中,对常年水体直接赋予特湿 D0,对其处进行干旱监测没有意义。

参 考 文 献

1 宫德吉,郝慕玲,侯 琼. 旱灾成灾综合指数的研究. 气象,1997,22(10):3~7

2 谭德宝,刘良明,鄢俊洁,等. MODIS 数据的干旱监测模型研究. 长江科学院院报,2004,21(3):11~15  
3 鄢俊洁,刘良明. MODIS 云检测研究. 第十四届全国遥感技术学术交流会,青岛,2003  
4 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京:科学出版社,2001. 196~197  
5 李德仁,袁修孝. 误差处理与可靠性理论. 武汉:武汉大学出版社,2002

第一作者简介:刘良明,副教授。主要从事遥感、GIS 等领域的教学和科研工作。

E-mail:lm\_liu69@sohu.com

Analysis of Parameters and Their Powers of MODIS  
Drought Monitoring Model

LIU Liangming<sup>1</sup> HU YAN<sup>1</sup> YAN Junjie<sup>1</sup> TAN Debao<sup>2</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Yangtze River Scientific Research Institute, 23 Huangpu Road, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** With the in-situ soil moisture data of Hubei province in June and July 2003, this papar brings out CCFD, CCD,CFDR and temperature difference (TD) into the drought monitoring model,analyzes their relationships and to what extent they influenced the integrated drought index,so as to make certain their powers in this model. The results show that these parameters have their independence and importance,and using the correlation coefficients as powers is better than that of equal powers.

**Key words:** MODIS; drought prediction model; cloud; temperature difference

**About the first author:** LIU Liangming, associate professor, his research interest includes applications of remote sensing data to earth sciences, geographic information systems development.

E-mail: lm\_liu69@sohu.com

(责任编辑: 晓平)

《武汉大学学报·信息科学版》在国家期刊奖评比中获奖

第三届国家期刊奖日前公布,《武汉大学学报·信息科学版》荣获提名奖。这是本刊首次参加该项国家级评比,并获得大奖。

国家期刊奖是由国家新闻出版总署组织的全国期刊最高奖,每两年评选一次,2004 年是第三届。共设奖励名额 360 种,其中国家期刊奖(一等奖)60 种,提名奖(二等奖)100 种,全国百种重点期刊(三等奖)200 种。科技期刊和社科期刊分开评比,各占一半名额,从全国 8 000 多种期刊中层层推荐、评比产生。

本届国家期刊奖评比中科技类期刊采用了新的评价标准,反映了国家对科技期刊的整体要求。《武汉大学学报·信息科学版》能跻身二等奖,是对本刊办刊方针和期刊质量的充分肯定。

据悉,全国高校学报自然科学版中进入一等奖的仅 1 种,二等奖 5 种,三等奖 17 种。在测绘类期刊中,本刊也是惟一进入提名奖的期刊。

# 基于 MODIS 卫星数据的平流雾检测研究

马慧云<sup>1</sup> 李德仁<sup>2</sup> 刘良明<sup>1</sup> 梁益同<sup>3</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(3 武汉中心气象台,武汉市东湖东路,430074)

**摘 要:**利用 MODIS 卫星数据,对雾与目标物(水、云、雪、地物)分别进行采样,得到光谱曲线并进行光谱分析,提出了有利于白天和夜间平流雾检测的波段,利用该波段选择结果,采用阈值法对平流雾进行检测并得到地面数据验证。结果表明,MODIS 数据在雾检测方面具有很大的潜力。

**关键词:**平流雾;MODIS;光谱分析;光谱曲线;阈值

**中图法分类号:**P237.3;TP753

平流雾是当暖空气移到冷的下垫面上时形成的雾。冬季海洋暖气团移到冷的大陆上时形成平流雾(也称为海雾)。该雾的范围和厚度一般比辐射雾大,一年四季都可出现<sup>[1]</sup>。雾的出现严重影响到航海、航空及公路运输和军事活动,常引发灾难性的事故。由于卫星遥感具有快速、宏观、大范围连续监测的优点,国外 70 年代就进行了利用卫星遥感监测雾的研究<sup>[2~6]</sup>,主要集中在 NOAA/AVHRR 数据的雾检测研究上。国内对雾检测的研究较为少见,也有不少气象专家在该方面进行了一定的研究<sup>[7~9]</sup>,但对具体结果的评估尤其是夜间雾的研究则少。

与 NOAA/AVHRR 数据相比,MODIS 数据具有的高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率和免费接收政策,使其在灾害研究方面具有一定的优越性。由于 MODIS 波段相对 NOAA/AVHRR 来说,波段通道变窄,数量增多,因此,对 MODIS 卫星数据进行有关雾的光谱分析具有很大的意义。

## 1 光谱分析

从地面发射或反射的辐射通过大气介质向上传播,具有不同成分、不同温度的非均匀大气对不同波段的电磁辐射有不同的吸收、辐射和散射特

性。通过对雾与地表、水、雪、云在卫星仪器不同通道的辐射和反射特性的分析表明,卫星遥感监测大雾是可能的。MODIS 作为新一代中分辨率成像光谱仪,波段众多,有利于影像中不同目标的光谱曲线的恢复,从而可以对雾、地表、水、雪、云的辐射和反射特性进行区分。

由于雾、地表、水、雪、云具有不同的反射和辐射特性,因此在遥感影像中表现出不同的纹理特征和灰度特征,可以通过目视判别对其作出定性的判断。雾一般由逆温中心逐渐扩散形成,因此灰度具有从中心到边缘逐渐变化的特性,并且雾边缘较薄云光滑且与等高线具有一定的吻合性,因此,根据雾与薄云的纹理特征,从目视判别上可以把二者区分开。

采用目视判别,对影像中的云、雪、水、雾和剩余地表信息选取特征点,将各个波段的反射率和辐射率映射到同一坐标系中,恢复其光谱曲线,结果如封二彩图 1 所示(蓝线代表雾的光谱曲线,红线代表其他目标物的光谱曲线)。

1) 白天,雾与地物、水、雪在可见光(MODIS01、MODIS04)和近红外(MODIS02)波段具有很大的反射差异。这是由于雾中存在大量的微滴,平均粒子半径在 10  $\mu\text{m}$  左右,其大小与可见光和近红外波长( $<3 \mu\text{m}$ )相当。根据散射理论<sup>[10]</sup>,粒子尺度大于或与波长相一致时的散射称为米氏

(Mie)散射,因此雾的散射作用相当明显,除了一定程度的吸收外,完全阻挡了对地表面的探测,雾的反射率明显高于水体、地面和雪。

2) 白天有利于云和雾分离的波段较少,仅在中红外波段(MODIS21、MODIS22)具有一定的亮度温度差异。其主要原因是云和雾的粒子半径均比较大,在可见光波段具有相同的散射现象,若云顶与雾顶温度差异不大,则热红外波段的亮度温度差异也不明显,可以作为云和雾分离检测的波段减少。由于中红外波段位于太阳辐射光谱曲线与地球大气辐射光谱曲线的相交处,在白天有太阳辐射时,云层和雾层不仅自身向上发射辐射,而且还反射太阳辐射。因此,该波段范围既具有反射辐射特性,又具有发射辐射差异,云和雾的粒子半径差异和温度差异使该波段的辐射差异更加明显。

3) 由于雾具有强烈的逆温现象,雾与雪在红外波段(MODIS29、MODIS31、MODIS32)具有一定的亮度温度差异。

4) 夜间由于水的热容量较大,白天吸收的太阳辐射能量散发较慢,水的温度比雾顶温度高出很多,在红外波段,水与雾的亮度温度差异均比较大,使水与雾的分离比较容易。夜间由于雾顶逆温现象增强,云和雾的温度差异增大,所以在热红外波段(MODIS27、MODIS28、MODIS34、MODIS35),云和雾具有较强的可分性。

5) 夜间雾的强逆温现象使雾与地物温度差异减小,红外波段的亮度温度差异变小。但从光谱曲线分析得知,雾在 MODIS20 和 MODIS23 波段的亮度温度几乎相同,而地物则具有较大的变化,可以利用该差异将地物与雾进行分离。

2 试验及结果分析

根据以上波段的分析结果,对 MODIS 卫星数据提出了一种初步的平流雾检测方法,如图 1 所示。利用该算法对发生在辽宁省及辽东湾的 2004-01-05 13:21 和 2004-01-06 01:27 的平流雾进行了检测。根据气象方面的有关资料,目前雾检测算法的结果只能靠常规的地面观测站点的实测数据进行检验,虽然观测站点的设置密度和观测密度难以满足检测结果的精度,但由于雾具有面状特征,若实测有雾的站点相邻,则将其所包含的区域认为是雾区。由于地面实测站点均为整点观测,因此,白天地面实测数据时间为 2004-01-05 14:00,夜间地面数据实测时间为 2004-01-06

02:00。雾检测结果如封三彩图 2 所示。

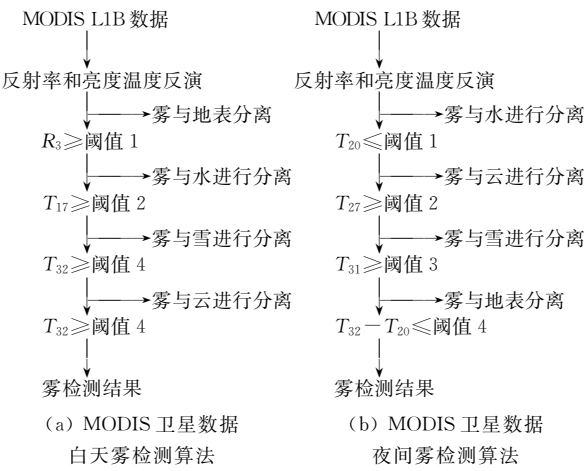


图 1 算法流程图  
Fig. 1 Data Process Flow

根据《地面气象观测规范》<sup>[11]</sup>,将水平能见度低于 1.0 km 的视程障碍现象称为雾,水平能见度大于等于 1.0 km 至小于 10.0 km 的视程障碍现象称为轻雾。白天该地区共有 196 个观测站点,25 个站点实测有雾和轻雾出现,其中 22 个位于遥感影像检测结果中。遥感影像检测结果与地面实测站点对比如表 1 所示。

表 1 白天雾检测验证结果  
Tab. 1 Validated Result in Daytime

地面实测 天气状况	地面实测 站点数	遥感影像 检测结果	检测结果 说明	百分比/%
雾	3	3 雾	雾检测结果良好	100
		16 雾	检测结果正确	84.2
轻雾	19	2 地表	总云量大于 7	10.5
		1 地表	误判	5.3

检测为地表的 3 个站点中,有 2 个站点总云量的观测值大于 7,且伴有微风。由于遥感观测数据比地面数据早半个小时,有可能是该云继续辐射冷却形成的平流雾。通过地面数据验证,该算法对雾的检测效果达到 100%;对于轻雾,可达到 84.2% 的正确判断率,10.5% 的疑似判断率,5.3% 的误判率。

夜间该地区共有 36 个观测站点,19 个站点实测有雾和轻雾出现,其中 10 个站点位于遥感影像检测结果中。遥感影像检测结果与地面实测结果对比如表 2 所示。

平流雾是由暖空气团移到冷的下垫面时形成的,在未完全形成雾之前,其上方为云,下方为雾,夜间由于地面辐射冷却增强,暖空气团更容易辐射冷却形成雾。检测为云的 9 个站点中,有 5 个站点总云量的观测值大于 7,可能是云继续冷却或



表 2 夜间雾检测验证结果

Tab. 2 Validated Result in Nighttime

地面实测 天气状况	地面实测 站点数	遥感影像 检测结果	检测结果 果说明	百分比/%
雾	8	5 雾	检测结果正确	62.5
		2 云	总云量大于 9	25
		1 云	误判	12.5
		5 雾	检测结果正确	45.5
轻雾	11	3 云	总云量大于 7	27.3
		3 云	误判	27.2

正在冷却形成平流雾。在夜间由于雾的逆温现象增强,有少量地物与雾的光谱信息基本一致,在检测结果中形成噪声点,说明该算法有待进一步改进。

3 结 语

本文通过光谱曲线分析,得到 MODIS 卫星影像数据白天和夜间平流雾检测的有效波段,为 MODIS 卫星影像数据雾检测的进一步研究奠定了基础。

由于本文仅选取两幅影像做试验,因此具有时间和地区局限性。影像图中云均为高中云,对于遥感影像中低云与雾区分的难点尚未涉及,并且夜间由于雾的强逆温现象出现部分地物判别为雾的现象,说明算法有待进一步改进。

参 考 文 献

1 李爱贞,刘厚凤.气象学与气候学基础.北京:气象出

版社,2001

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.遥感技术与应用,2000(4): 223~227

3 Kudoh J I, Noguchi S. Identification of Fog with NOAA AVHRR Images. IEEE, 1991. 704~709

4 Bendix J, Berthmann F, Reudenbach C. NOAA-AVHRR and 4D GIS-towards a More Realistic View of Fog Clearance. IEEE, 1999. 2 235~2 237

5 Bachmann M, Bendix J. Fog Detection in the Alpine Region with NOAA/AVHRR. IEEE, 1991. 1 713 ~ 1 716

6 Bendix J. Detection of Fog Horizontal Visibility by Means of NOAA-AVHRR. IEEE, 1995. 1 847 ~ 1 849

7 李亚春,孙 涵,徐 萌.卫星遥感在大雾生消动态监测中的应用.灾害学,2001(1): 45~49

8 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.遥感技术与应用,2000(4): 223~227

9 陈 伟,周红妹,袁志康,等.基于气象卫星分形纹理的云雾分离研究.自然灾害学报,2003(2):133~139

10 廖国男.大气辐射导论.北京:气象出版社,1985

11 中国气象局.地面气象观测规范.北京:气象出版社,2003

第一作者简介:马慧云,博士生。主要从事遥感图像处理研究。  
E-mail:lingzi\_2002@163.com

Fog Detection Based on EOS MODIS Data

MA Huiyun<sup>1</sup> LI Deren<sup>2</sup> LIU Liangming<sup>1</sup> LIANG Yitong<sup>3</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,  
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Wuhan Centre Weather Service, 3 East Donghu Road, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Based on spectral profiles sampling from EOS MODIS data, the spectral characteristics of water, cloud, snow, surface features and fog are analyzed; Channels suitable for fog detection are discovered. On the basis of this, the advection fog, which occurred at 13:21 on Jan. 5, 2004 and at 01:27 on Jan. 6, 2004, in Liaoning Province and Liaodong Gulf, is detected. Validated from ground truth data, the result shows that MODIS data has great potential in fog detection.

**Key words:** advection fog; MODIS; spectral analytic; spectral profile; threshold