

文章编号:1001-9014(2008)05-0046-04

## 卫星遥感像元邻近效应的模拟试验

温兴平<sup>1,2</sup>, 胡光道<sup>2</sup>, 杨晓峰<sup>3</sup>

- (1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;
2. 中国地质大学数学地质遥感地质研究所, 湖北 武汉 430074;
3. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:**定量遥感需要对遥感影像进行大气校正,在大气校正过程中,去除邻近效应的影响是一个比较重要的环节.对邻近效应的移除依赖于对影响邻近效应的主要因子及影响机制的认识,为此研究了影响邻近效应的主要因子及影响机制.文中利用MODTRAN模型对不同对比度目标物在不同条件下的邻近效应进行了模拟,得出能见度对邻近效应的影响最大,其次是卫星天顶角,太阳高度角对邻近效应的影响最小;在能见度较高时,辐射率变化百分率曲线形状接近背景反射率曲线,但这种情况在能见度较低时并没有出现;在能见度较高时,随着波长增加,辐射率变化百分率逐渐减小,但在能见度较低时,这种关系没有出现.表明随着能见度减小,其对邻近效应的影响也呈现复杂化.模拟结果为消除邻近效应的影响提供了依据.

**关键词:**遥感;大气校正;邻近效应;MODTRAN;模拟

**中图分类号:**TP7 **文献标识码:**A

## SIMULATION EXPERIMENTS ON ADJACENCY EFFECT OF SATELLITE REMOTE SENSING PIXELS

WEN Xing-Ping<sup>1,2</sup>, HU Guang-Dao<sup>2</sup>, YANG Xiao-Feng<sup>3</sup>

- (1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
2. Institute of Mathematical Geology and Remote Sensing, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
3. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The remote sensing image should be atmospherically corrected for quantitative application, while removing the adjacency effect is an important step in atmospheric correction. Removing adjacency effect depends on the knowledge of its main impact factors and mechanism. In this study, the main impact factors and mechanism of adjacency effect were investigated, and the adjacency effect of different contrast targets in different conditions was simulated by using MODTRAN model. The results show that the visibility has the first important effect on adjacency effect; the satellite zenith angle has the second one; and the solar altitude angle has the least one. When the visibility is higher, the curve of relatively variable percentage of radiance is more similar to the curve of background radiance. But in the case of lower visibility, this phenomenon is not appeared. When the visibility is higher, the relatively variable percentage of radiance reduces gradually as the wavelength increases. But in the lower visibility, this relation does not appear. It proves that as the visibility is reduced, its impact on the adjacent effect is more complicated. The results will provide the basis for removing the adjacency effect.

**Key words:** remote sensing; atmospheric correction; adjacency effect; MODTRAN; simulation

### 引言

遥感要求从定性描述到定量的过渡,定量遥感对全球变化信息的动态监测有重要意义.定量遥感要获取精确的要素反演,就需要对影像进行大气校正<sup>[1,2]</sup>.在大气校正过程中,邻近效应(Adjacency

Effect)是一个比较重要的环节<sup>[3]</sup>.传感器收到的辐射信号由三部分组成<sup>[4]</sup>:一部分来自辐射在大气中的散射,也称为程辐射,这部分信息不接触地面直接进入传感器,对地物遥感来说,是无用的干扰信息;一部分来自地面点的直接辐射,这部分信息是真实的地物信息,大气校正的结果就是要提取出这部分

收稿日期:2008-04-12,修回日期:2008-12-18

Received date: 2008-04-12, revised date: 2008-12-18

基金项目:国土资源部“十五”重点研究项目:国土资源大调查(2003024002)

作者简介:温兴平(1970-),男,山西兴县人,高级工程师,博士研究生,研究方向为定量遥感.

信息;另一部分来自相邻像元的交叉辐射,这部分辐射造成的影响为邻近效应。邻近效应是指高空平台上遥感器对地观测到的表观反射率(apparent reflectance)中含有来自视场周围环境地表的贡献<sup>[5]</sup>。邻近效应一般增加了暗像元的辐射值,减少了亮像元的辐射值,因而降低了影像的对比度,使影像变得模糊。随着星下点分辨率的提高,邻近效应越来越显著。Lyapustin 等人研究指出,当对卫星星下点分辨率小于 1km 的遥感影像进行大气校正时,就应该充分考虑邻近效应的影响<sup>[6]</sup>。许多文献研究了消除邻近效应的方法,一般在研究中用大气点扩散函数来模拟邻近效应。邻近像元的影响可以看作是地表辐射场和大气点扩散函数的卷积,如果能得到精确的点扩散函数,就可以通过反卷积来去除邻近效应的影响。马建文等人用地面光谱测量数据对邻近效应进行估计,并通过得出的数据对 LandSat 5<sup>[7]</sup> 影像的邻近效应进行校正,取得较好的效果。Kaufman 研究出一种标准大气调制传递函数 MTF (Modulation Transfer Function) 的简单公式来模拟邻近效应的影响,比用蒙特卡罗方法模拟提高了 25% 的精度<sup>[8]</sup>。但由于邻近效应的影响相当复杂,其在不同的波段、大气参数、几何参数等条件下会表现出不同的特征,因而至今能成功移除邻近效应的方法较少<sup>[9]</sup>。遥感数据在大气校正过程中要消除邻近效应的影响,就需要了解不同条件下对邻近效应的影响。本文尝试用 MODTRAN4 来模拟不同波长在不同条件下邻近效应的影响。研究中对不同对比度目标物在不同太阳高度角、卫星天顶角和大气水平能见度条件下的邻近效应进行了模拟,以期得出影响邻近效应的主要因子及作用机制,为去除邻近效应的影响提供依据。

## 1 MODTRAN 简介

MODTRAN (MODerate resolution TRANsmission) 是 AFGL (Air Force Geophysics Lab) 编制的大气辐射传输模型,用来计算大气透过率、大气背景辐射、单次散射的日光和月光辐射亮度、太阳直射辐照度。AFGL 从 1971 年开始研制 LOWTRAN (LOW resolution TRANsmission), 1989 年后改进 LOWTRAN 的光谱分辨率,将光谱的 FWHM (full width half maximum) 由原来的  $20\text{cm}^{-1}$  减小到  $2\text{cm}^{-1}$ , 并开始研制 MODTRAN。1999 年 MODTRAN4 公布。经过长达二十多年的研究与改进,MODTRAN 已日趋成熟,可以适用于各种大气辐射传输模型的模拟计算。许多商用遥感软件的大气校正模块,如 FLAASH, ATCOR

等均以 MODTRAN 为计算核心。MODTRAN 可以实现不同反射率目标在不同背景反射率下的辐射率计算,因而用户可以实现对邻近效应的模拟试验。

## 2 研究方法

影响邻近效应的主要因素有:目标与环境对比度、太阳高度角、卫星天顶角、水平能见度、卫星高度等。由于大气中影响辐射传输的成分集中在底层,不同卫星高度下大气对辐射传输的影响基本相同,因而卫星高度对邻近效应的影响很小,故文中卫星高度对邻近效应的影响未进行讨论。文中对标准朗伯面且具有固定反射率的目标在不同目标与环境对比度、太阳高度角、卫星天顶角和水平能见度下的邻近效应进行研究。研究选取的参数如下:模拟卫星高度为 705km,气溶胶模式为中纬度夏季,气溶胶消光系数为城市模式,研究波段范围为 350 ~ 1250nm,水平能见度 (V) 选 5km、50km,太阳高度角 ( $\theta$ ) 选  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ ,卫星天顶角 ( $\varphi$ ) 为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 。

邻近效应是由目标反射率与背景反射率不同引起的,当目标反射率与背景反射率相同时认为没有邻近效应的影响。为了比较不同对比度目标物在不同条件下邻近效应的影响,研究中用辐射率变化百分率来比较同一反射率目标物在不同背景辐射率及不同条件下的辐射率变化,当辐射率变化百分率高时认为邻近效应明显。辐射率变化百分率的定义如下

$$L_R = \frac{|L - L_a|}{L} \times 100\% \quad (1)$$

其中, $L_R$  为辐射率变化百分率, $L$  为目标反射率与背景反射率相同条件下的辐射率, $L_a$  为同一目标反射率在不同背景反射率及不同条件下的辐射率。

研究中目标反射率 ( $R_T$ ) 取 0.05 和 0.8 两种 (以下称暗目标和亮目标),在图 2、图 3、图 4 中,上下图分别为亮目标和暗目标条件下辐射率变化百分率图。在暗目标条件下,背景反射率 ( $R_B$ ) 取 0.3、0.8 两种;在亮目标条件下,背景反射率取 0.3、0.05 两种。下面各图在模拟计算过程中缺省参数为:水平能见度 50km、太阳高度角  $60^\circ$ 、卫星天顶角  $0^\circ$

### 2.1 不同对比度下的邻近效应

研究中选取两个极端对比度的目标物:亮目标在暗背景下和暗目标在亮背景下。在图 1 中,当目标反射率与背景反射率相等时认为没有邻近效应;当目标在与目标反射率相同和不同的背景反射率下的辐射率差值越大,认为邻近效应越明显。从图 1 可以看出,不同对比度在不同波段条件下,均有不同程度

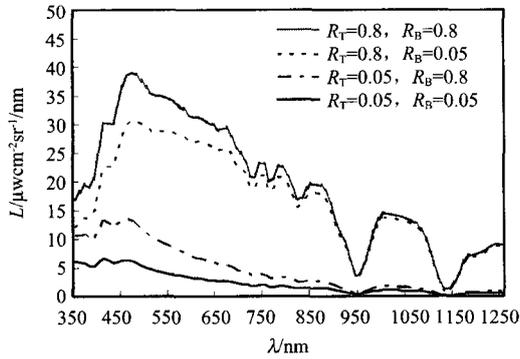


图1 不同对比度目标物下的辐射率  
Fig.1 Radiance on different contrast targets

的邻近效应,且随着波长的增加,邻近效应明显减小,在可见光波段下邻近效应比近红外波段较为明显.暗像元在亮背景下的邻近效应导致辐射率增强,亮像元在暗背景下的邻近效应导致辐射率降低.暗像元在亮背景下的邻近效应比亮像元在暗背景下的邻近效应明显.

## 2.2 不同太阳高度角下的邻近效应

图2为不同对比度目标物在不同太阳高度角下的辐射率变化百分率.从图上可以看出,在相同太阳高度角下,对比度的增大导致辐射率变化百分率增大.在相同对比度下,当目标物为亮目标时,随着太阳高度角减小,辐射率变化百分率几乎没有变化.而当目标为暗目标时,辐射率变化百分率随太阳高度角减小而减小.这是因为太阳高度角的变化使目标像元与背景像元的辐射率同时发生变化.太阳高度角的减小使目标像元与背景像元的辐射率同时减小,也减小了目标像元与背景像元辐射率的差值,从而减小了辐射率变化百分率.这种变化在暗目标条件下较为明显,而在亮目标下由于较高的辐射率使辐射率变化百分率的减小不明显.总体来讲,太阳高度角对辐射率变化百分率影响不很明显.

## 2.3 不同卫星天顶角下的邻近效应

图3为不同对比度目标物在不同卫星天顶角下的辐射率变化百分率.在对比度相同条件下,卫星天顶角增加,辐射率变化百分率也增加.这是因为当卫星高度固定时,卫星天顶角的增加,加大了目标像元到传感器的距离,同时加大了卫星斜视的角度,所以也增加了目标像元辐射在大气中传输的距离,因而增加了大气散射,导致邻近效应的增加.

## 2.4 水平能见度对邻近效应的影响

水平能见度对邻近效应的影响是很明显的.图4为不同对比度目标物在不同能见度下的辐射率变

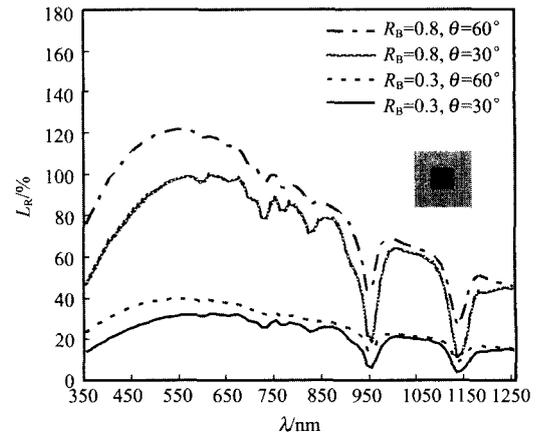
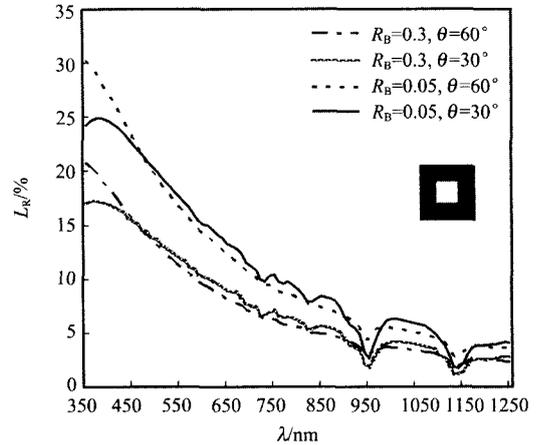


图2 不同对比度目标物在不同太阳高度角下的辐射率变化百分率

Fig.2 Relatively variable percentage of radiance on different contrast targets for different solar altitude angles

化百分率.从图上可以看出,暗目标和亮目标在不同能见度条件下均有明显的辐射率变化百分率的变化.对比度越大,能见度越小,辐射率变化百分率变化越大.能见度为50km时,辐射率变化百分率随波长增加而减小.且随着波长增加,由不同对比度引起的辐射率变化百分率也减小.这是因为交叉辐射主要来自周边像元辐射的大气散射,能见度为50km时,瑞利散射在大气中占较大的比例,瑞利散射随着波长增加而减小.所以随着波长增加,辐射率变化百分率和由不同对比度引起的辐射率变化百分率的变化均减小.当能见度为5km时,辐射率变化百分率曲线在整个波段均很明显,935nm和1130nm为中心的水汽吸收带附近被明显扩大.这说明此时辐射率变化百分率曲线与波段相关性较小.这是因为当能见度为5km时,大气相当混浊,大气中气溶胶粒子占主要成分,对于气溶胶粒子而言,散射强度对光波长的依赖较小,而主要取决于粒子尺度.在两种能

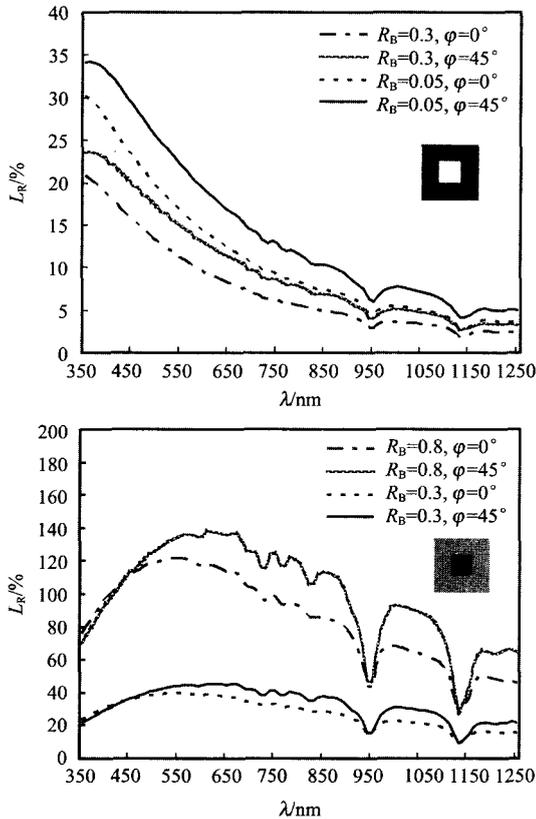


图3 不同对比度目标物在不同卫星天顶角下的辐射率变化百分率

Fig.3 Relatively variable percentage of radiance on different contrast targets for different satellite zenith angles

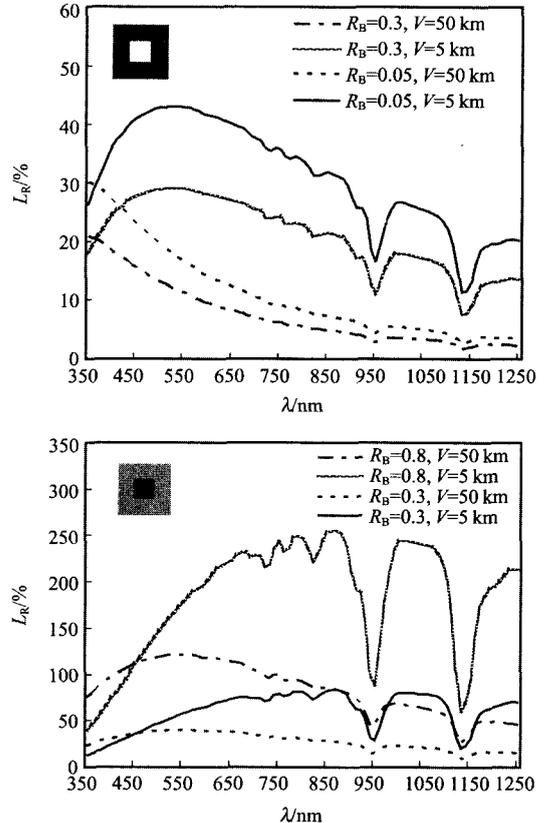


图4 不同对比度目标物在不同能见度下的辐射率变化百分率

Fig.4 Relatively variable percentage of radiance on different contrast targets for different visibilities

能见度下,暗目标引起辐射率的变化均比亮目标大。这是由于暗目标像元的辐射率较背景像元低,而亮目标像元的辐射率较背景像元高,所以背景像元辐射经散射进入传感器的光子数在暗像元目标下较亮像元目标所占比例高。在相同对比度条件下,能见度由50km减小为5km,辐射率变化百分率增加了一倍多,说明能见度对邻近效应的影响是很明显的。

能见度对邻近效应的影响是比较复杂的。对比图4和图1可以看出,在能见度为50km时,辐射率变化百分率曲线形状接近于背景反射率曲线(图1中目标反射率与背景反射率相同时的辐射率曲线)。这说明在能见度较高时,背景辐射越强对邻近效应的影响也越大,但这种现象随着能见度的减小并没有出现。当能见度为5km时,辐射率变化百分率曲线呈现不规则的变化。另外,在能见度为50km时,随着波长的增加辐射率变化百分率逐渐减小;当能见度为5km时,这种情况也没有出现。这说明随着能见度的减小,它对邻近效应的影响越来越复杂。

### 3 结语

邻近效应主要由背景像元辐射在大气中散射所引起,所以大气中气溶胶对邻近效应的影响是最大的。卫星天顶角对邻近效应的影响也是因为增加了目标像元辐射在大气中传输的距离,增加了光学厚度,因而增加了交叉辐射。太阳高度角的改变使目标像元和背景像元的辐射率同时发生变化,因而对邻近效应影响较小。文中利用MODTRAN模拟了在不同太阳高度角、卫星天顶角和水平能见度条件下不同目标与环境对比度引起的辐射率变化,得出如下结论:

(1) 能见度对邻近效应的影响最大,其次是卫星天顶角,太阳高度角对邻近效应的影响最小。

(2) 在能见度较高时,辐射率变化百分率曲线形状接近背景辐射率曲线,但这种情况在能见度较低的情况下并没有出现;在能见度较高时,随着波长增加,邻近效应逐渐减少,但在能见度较低的情况下,

(下转第70页)

## REFERENCES

- [1] TAN Ke-Long, ZHOU Ri-Ping, WAN Yu-Qing, *et al.* Remote sensing monitoring method of hyper spectral and high-resolution for underground coal bed combustion[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (谭克龙, 周日平, 万余庆, 等. 地下煤层燃烧的高光谱及高分辨率遥感监测方法. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(5): 349—358.
- [2] GUAN Li, HUANG Hung-Lung, Array co-registration error of airs[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (官莉, Huang Hung-Lung, 大气红外探测仪的探测器序列定位误差. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(2): 153—156.
- [3] HE Jin-Cheng, YANG Xiang-Long, WANG Li-Ren. Path length selection of determining the chemical oxygen demand (COD) in wastewater by using near-infrared transmission spectra[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (何金成, 杨祥龙, 王立人. 近红外光谱透射法测量废水化学需氧量(COD)的光程选择. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(4): 317—320.

(上接第 49 页)

这种关系没有出现. 说明随着能见度的减小, 其对邻近效应的影响也呈现复杂化.

(3) 在其他条件不变的情况下, 对比度越大, 邻近效应越明显.

(4) 暗像元在亮背景下的邻近效应比亮像元在暗背景下的邻近效应明显.

邻近效应是由背景辐射场通过大气散射进入传感器引起的, 这部分影响是一个非常复杂的过程. 尤其是当大气较混浊或地表不均一的情况下, 大气中多次散射占很重要的地位, 这时邻近效应的影响更为复杂. 文中只考虑了同一大气模式下不同条件对邻近效应的影响, 其实大气的成分是很复杂的, 如气溶胶, 由于其产生的原因千差万别, 所以其组成成分、光学特征、粒子形状、尺度谱以及其数密度随高度的分布等要素随时随地都有极大的变化, 这些因素的不同均会对邻近效应产生不同程度的影响, 这些均需要进行更深入的研究.

## REFERENCES

- [1] YIN Qiu, KUANG Ding-Bo. Views on chinese remote sensing development[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (尹球, 匡定波. 促进遥感发展的几点思考. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(3): 225—231.
- [2] SHEN Yuan-Ting, NI Guo-Qiang, XU Da-Qi, *et al.*

- [4] Lee J S, Kuk B J, Kim Y J. Development of a differential optical absorption spectroscopy (DOAS) system for the detection of atmospheric trace gas species; NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> [J]. *Journal of the Korean Physical Society*, 2002, **41**(5): 693—698.
- [5] DONG Lei, MA Wei-Guang, YIN Wang-Bao, *et al.* Experimental study on harmonic detection of methane by use of a digital lock-In Amplifier[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis* (董磊, 马维光, 尹王保, 等. 利用数字锁相放大器对甲烷气体进行谐波探测的实验研究. *光谱学与光谱分析*), 2005, **23**(3): 473—476.
- [6] Linnerud I, Kaspersen P, Jæger T. Gas monitoring in the process industry using diode laser spectroscopy[J]. *Appl. Phys. B*, 1998, **67**(3): 297—305.
- [7] Liu J T C, Jeffres J B, Hason R K. Wavelength modulation absorption spectroscopy with 2 f detection using multiplexed diode lasers for rapid temperature measurements in gaseous flows[J]. *Appl. Phys. B*, 2004, **78**(3—4): 503—511.

Study on gas exploration by hyperion hyperspectral remote sensing data[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (沈渊婷, 倪国强, 徐大琦, 等. 利用 Hyperion 短波红外高光谱数据勘探天然气的研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(3): 210—213, 223.

- [3] YANG Gui-Jun, LIU Qin-Huo, LIU Qiang, *et al.* Adjacency effect analysis in image simulation of high resolution mid-infrared (3 ~ 5 μm) remote sensing[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (杨贵军, 柳钦火, 刘强, 等. 高分辨率中红外遥感 (3 ~ 5 μm) 成像模拟中邻近效应分析. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(3): 233—240.
- [4] Singh S M. Estimation of multiple reflection and lowest order adjacency effects on remotely-sensed data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, **9**(9): 1433—1450.
- [5] Otterman J, Fraser R S. Adjacency effects on imaging by surface reflection and atmospheric scattering - cross radiance to zenith[J]. *Applied Optics*, 1979, **18**(16): 2852—2860.
- [6] Lyapustin A I, Kaufman Y J. Role of adjacency effect in the remote sensing of aerosol[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2001, **106**(D11): 11909—11916.
- [7] Ma J W, Li X W, Chen X, *et al.* Target adjacency effect estimation using ground spectrum measurement and Landsat-5 satellite data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, **44**(3): 729—735.
- [8] Kaufman Y J. Atmospheric effect on spatial-resolution of surface imagery[J]. *Applied Optics*, 1984, **23**(22): 4164—4172.
- [9] Liang S L, Fang H L, Chen M Z. Atmospheric correction of landsat ETM + land surface imagery - Part I: Methods[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, **39**(11): 2490—2498.