

# 高光谱影像能量边缘提取

杜辉强<sup>1,2</sup> 舒 宁<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)  
(2 越南科学院海洋研究所, 河内市纸桥郡黄国越路 18/A27 号, 越南)

**摘 要:** 高光谱影像的能量边缘提取方法的本质是利用高光谱信号的能量相似性与能量分布特征来寻找边缘, 从能量边缘图可以提取属于不同地物类别的主要边缘, 这些边缘都比较明显与完整。实验结果表明, 能量边缘对噪声信号不敏感, 与用其他方法寻找边缘的结果相比, 能量边缘具有更好的效果。  
**关键词:** 高光谱影像; 模拟遥感数据; 能量边缘  
**中图法分类号:** P237.3

高光谱数据的波段很多, 当用单幅影像来提取边缘时, 每个波段的边缘检测结果不会完全相同。如何把各波段的边缘图综合为惟一幅边缘图? 如果没有合适的综合方法, 能否直接利用所有波段的信息? 针对上述问题, 可以对彩色影像按 3 个分量进行矢量分析<sup>[1,2]</sup>。也可以采取如下一些途径: ① 对感兴趣的研究对象进行最佳波段选择, 然后使用单幅图像寻找边缘来进行边缘分析; ② 对感兴趣的研究对象选择最有效的几个波段, 然后进行图像融合处理, 用单幅图像的提取边缘方法来对融合后结果图像进行边缘分析; ③ 对所有波段影像进行单独边缘检测, 然后进行综合分析, 提取感兴趣对象的边缘。

## 1 高光谱遥感影像的能量边缘

### 1.1 信号的能量与相关分析

一般称满足以下条件的函数  $f(t)$  具有有限能量:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (1)$$

对有限离散数据,  $f(t)$  具有有限能量的条件为:

$$\sum_i f(i)^2 < \infty \quad (2)$$

对遥感数据来说, 所获得的高光谱信号是有限能量的信号。

$f(t)$  满足有限能量的条件时, 自相关函数为:

$$\rho_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)f(t+\tau)dt \quad (3)$$

$f(t)$  的能量谱是  $\rho_{11}(\tau)$  的傅里叶变换:

$$E_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_{11}(\tau)e^{-i\omega\tau}d\tau \quad (4)$$

即

$$|\rho_{11}(\tau)| \leq \rho_{11}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t)dt \quad (5)$$

设  $f_1(t)$  和  $f_2(t)$  为实函数,  $f_1(t)$  和  $f_2(t)$  的互相关函数为:

$$\rho_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t)f_2(t+\tau)dt \quad (6)$$

其能量谱为:

$$E_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_{12}(\tau)e^{-i\omega\tau}d\tau \quad (7)$$

根据 Schwarz 不等式<sup>[1]</sup>, 有:

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} f_1^2(t)dt \int_{-\infty}^{+\infty} f_2^2(t)dt \right| \geq \left| \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t)f_2(t+\tau)dt \right|^2 \quad (8)$$

即

$$|\rho_{12}(\tau)|^2 \leq \rho_{11}(0)\rho_{22}(0) \quad (9)$$

互相关函数的计算公式为:

$$\rho(f_1, f_2) = \frac{\rho_{12}}{\rho_{11}\rho_{12}} \quad (10)$$

对有限离散数据  $f_1(i)$  和  $f_2(i)$ , 互相关函数为:

$$\rho(f_1, f_2) = \frac{\sum_i f_1(i)f_2(i)}{(\sum_i f_1^2 \sum_i f_2^2)^{1/2}} \quad (11)$$

从 Schwarz 不等式和能量谱的特征可以看出,  $\rho(f_1, f_2)$  越高,  $f_1$  和  $f_2$  的相似性越大, 即信号的混合能量越低, 这表示  $f_1$  和  $f_2$  类似于同地物类别的信号。  $\rho(f_1, f_2)$  越低, 表示信号  $f_1$  和  $f_2$  的混合能量越高, 或者说  $f_1$  和  $f_2$  属于不同地物类别的信号。 所以, 可以用  $\rho(f_1, f_2)$  的较小值来作为寻找两地物类别之间差异的标准。 因为在少数特殊情况下, 两种信号会有相同能量, 但是不一定有相同的能量分布, 如果只根据相关函数  $\rho(f_1, f_2)$  来提取边缘会出现不良的效果。

因此, 在寻找能量边缘时, 要考虑两种信号的相关系数  $R(f_1, f_2)$  的影响。 由上述分析结果知, 能量边缘提取公式为:

$$E_{\text{edge}}(f_1, f_2) = R(f_1, f_2) \rho(f_1, f_2) \quad (12)$$
$$R(f_1, f_2) = \frac{\sum_i [f_1(i) - \bar{f}_1(i)][f_2(i) - \bar{f}_2(i)]}{(\sum_i [f_1(i) - \bar{f}_1(i)]^2 \sum_i [f_2(i) - \bar{f}_2(i)]^2)^{1/2}} \quad (13)$$

其中,  $\bar{f}_1(i)$  和  $\bar{f}_2(i)$  是  $f_1(i)$  和  $f_2(i)$  均值。

1.2 地物类之间的能量边缘模型分析

1.2.1 地物分布的模型与高光谱影像的模拟数据  
1) 地物分布的模型

图 1 左边的灰度范围是同一类植被的分布, 而右边的灰度范围是同一类土壤的分布。 被选用的植被是小麦, 被选用的土壤是裸露地, 相应的典型反射率见文献[3]。

图 1 中, 中间的白色带是具有小麦和裸露地的混合分布。 在这个范围里, 按从左到右的方向, 小麦的分布密度从 1 到 0, 裸露地的分布密度从 0 到 1。 利用这个范围里的光谱混合信号来分析地物类别的边缘和地物类别的能量边缘。

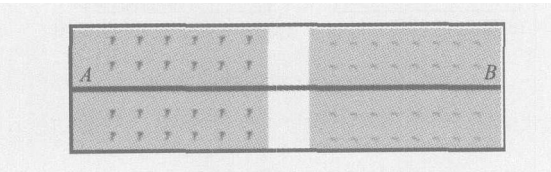


图 1 两类地物分布的模拟图

Fig.1 Simulative Image of Two Kinds of Ground Features

建立混合光谱模拟数据, 选用的是线性光谱混合模型<sup>[3]</sup>。 小麦和裸露地的混合系数用来计算模拟数据的变化。

2) 高光谱信号的模拟影像

因为模型数据用来分析高光谱混合信号的能量分布和提取能量边缘, 而不针对某光谱信号成

分的形成机制, 所以在建立数据模型时, 主要分析光谱混合信号的混合成分和相应的混合系数。

根据地物类别的分布、混合情况和地物类别的光谱特征, 可以计算出相应 MAIS 传感器的 30 个波段的模拟影像(如图 2、图 3 所示)。

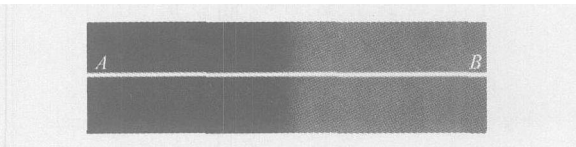


图 2 高光谱的模拟数据(以波段 20 为例)

Fig.2 Simulative Image for Super spectral Data

根据地物类别的分布和信号混合情况, 在高光谱模拟影像中, 在 AB 线上(如图 2 所示), 从左到右, 像元位置 1~55, 信号一致, 都属于植被。 像元位置 56~69, 混合信号逐渐变化, 从植被的特征曲线到土壤的特征曲线, 如图 3 所示(S56~S69)。 像元位置 70~125, 信号一致, 都属于土壤。

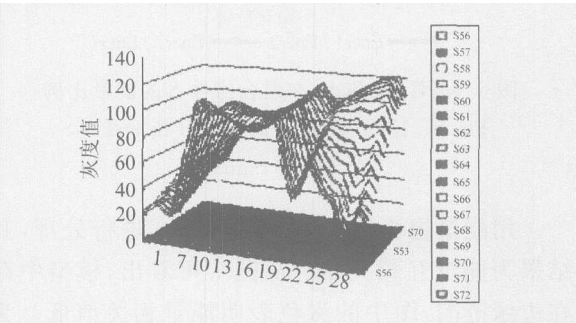


图 3 地物光谱信号的变化

Fig.3 Spectral Signals of Ground Features

1.2.2 光谱混合信号的能量变化和边缘提取

从光谱混合信号的成分能量的分布特征可以分析地物类别的信号成分和地物类别间的边缘。

信号的成分能量和混合信号总能量的比例见图 4、图 5。 在图 4 中, 信号  $S_1$  在混合信号  $S$  的能量比例值等于 1 时, 表明信号  $S$  只有信号  $S_1$ 。

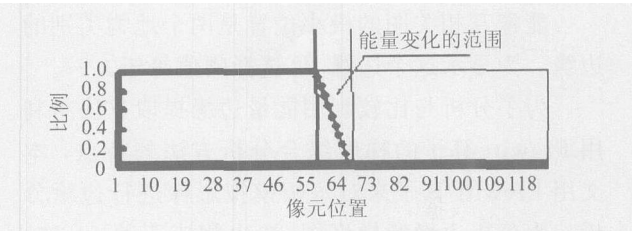


图 4 信号  $S_1$  在混合信号  $S$  中的能量比例

Fig.4 Energy Ratio of Signal  $S_1$  in Mixed Signals

在图 5 中, 信号  $S_2$  在混合信号  $S$  的能量比例值等于 1 时, 表明信号  $S$  只有信号  $S_2$ 。

能量比例值在大于 0 和小于 1 的范围内时, 有信号混合情况。 从图像边缘提取的角度来看,

这个范围内存在两地物类别的边缘。

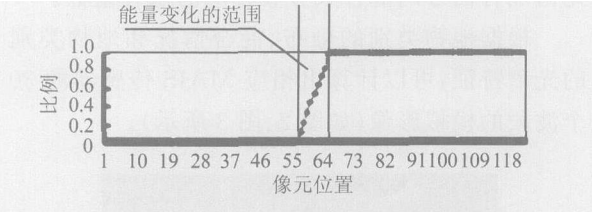


图 5 信号  $S_2$  在混合信号  $S$  的能量比例  
Fig. 5 Energy Ratio of Signal  $S_2$  in Mixed Signals

信号的成分能量之间的比例如图 6 所示。从图像边缘提取的角度来看,只在两种信号的能量比例非 0 的地方才存在地物类别的边。

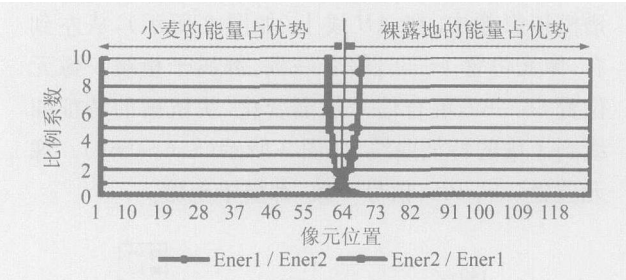


图 6 信号  $S_1$  和  $S_2$  在混合信号  $S$  的能量比例  
Fig. 6 Energy Ratio of Signal  $S_1$  and  $S_2$  in Mixed Signals

用能量边缘提取的算法对数据进行处理,其结果为能量互相关图。从图 7 可看出,模型中存在边缘范围,图中的深色表明能量相关值低。为了更直观地分析边缘,在平面的能量互相关图中选取一条直线,可以看出各值变化程度,见图 8。

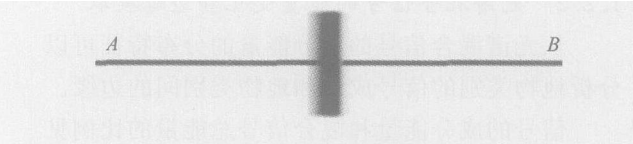


图 7 能量互相关图  
Fig. 7 Image of Energy Co correlation

能量互相关图的极小位置是两个地物类别的边缘。为显示这个边缘,可选择阈值等于 0.97。

为了分析与比较利用能量边缘提取方法与利用 Prewitt 算子的梯度综合分析方法的特点,本文用 Prewitt 算子来对每幅模拟影像进行边缘分析。为分析边缘的梯度图,选出相应于第 5、10、15、20、25、30 波段的边缘图与能量边缘图比较。结果表明,当地物类别的光谱信号有信号混合时,能量边缘图可以显示两地物类别间的边缘,当使用单独波段来分析边缘时,边缘显示宽度大,而且各不相同。

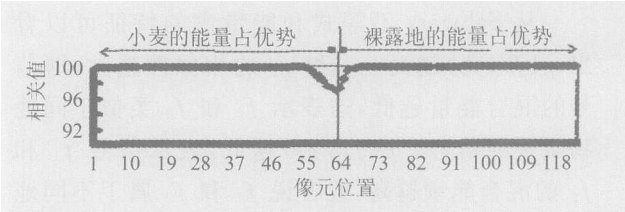


图 8 能量互相关图(沿  $AB$  线取值)  
Fig. 8 Image of Energy Co correlation for Line  $AB$  in Fig. 7

## 2 实际高光谱影像的能量边缘提取

本文利用鄱阳湖地区 MAIS 高光谱影像 30 个波段来提取能量边缘,相应于模板尺度为  $3 \times 3$  的单波段边缘图如图 9 所示。

根据实地地形图和影像信息,从边缘图可以看出如下特点:相应于单波段的边缘图来说,每幅边缘图都能反映关于地物类别的不同特征。如在图 9(a)中,河体的边缘不太明显,但有植物覆盖的地区边缘表现比较多。在图 9(b)中,河体的边缘很明显,但有植物覆盖的地区边缘表现不多。在图 9(c)中,有植物覆盖的地区边缘表现不明显,但是对噪声来说敏感度很强。

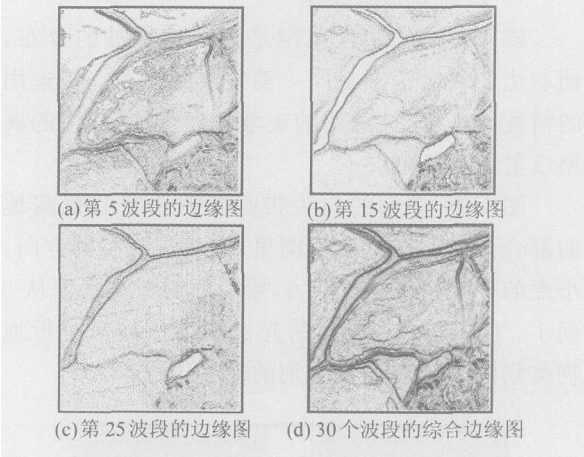


图 9 Prewitt 算子边缘提取  
Fig. 9 Edge Extractions with Prewitt Operator

因为综合边缘图取各波段 Prewitt 算子计算结果的梯度最大值代表在每一位置的表现最强的边缘,所以由图 9(d)可以看出,相应于 30 个波段的边缘图的综合特点,边缘的综合性比任何单波段边缘图都好。

从能量边缘图(图 10)可以看出河体、土地和有植物覆盖地区的主要边缘,这些边缘都比较明显与完整。实验表明,能量边缘对噪声信号不敏感。



图 10 30 波段的能量边缘图

Fig. 10 Energy Edge Image Using 30  
Bands of Data

3 结 语

对于高光谱遥感影像, 采取综合分析方法和能量边缘分析方法可以充分发挥和利用高光谱影像的信息特点, 有效地提取边缘信息。本文提出的能量边缘分析方法, 在理论上是合理的, 并有较高的实际应用价值。

参 考 文 献

[ 1 ] 王爱民. 基于矢量 Prewitt 的多尺度彩色图像边缘查测方法[ J ] . 中国图象图形学报, 1999( 12 ): 1 024 1 028

[ 2 ] 舒宁. 卫星遥感影像纹理分析与分形分维方法[ J ] . 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(4): 370 373

[ 3 ] 普瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[ M ] . 北京: 高等教育出版社, 2000

[ 4 ] 王润生. 图像理解[ M ] . 长沙: 国防科技大学出版社, 1994

[ 5 ] 涂建华. 图像处理与分析[ M ] . 北京: 科学出版社, 1994

[ 6 ] 张良培, 李德仁. 鄱阳湖地区高光谱遥感数据的定标研究[ J ] . 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22( 1): 35 ~ 38

[ 7 ] 郑治真. 波谱分析基础[ M ] . 北京: 地震出版社, 1979

第一作者简介: 杜辉强, 博士。研究方向为多光谱和高光谱影像分析。

E mail: dhcuong\_ncst@vnn.vn

Energy Edge Extraction Method for Super spectral Images

DO Huycuong<sup>1,2</sup> SHU Ning<sup>1</sup>

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

( 2 Hanoi Institute of Oceanography, Vietnamese Academy of Science and Technology, 18 A27 Hoang Quoc Viet Road, Cau Giay District, Hanoi, Viet Nam)

**Abstract:** The energy edge extraction method for super spectral images is based on the characters of energy similarity and correlation between super spectral signals. The energy edge map shows that the main edges between different ground objects can be detected, and these edges are not sensitive to noise. In comparison with other edge extraction methods, energy edge method is much more effective.

**Key words:** super spectral images; simulative remote sensing images; energy edge

About the first author: DO Huycuong, Ph. D. His research interest is in the field of multi spectral and super spectral image analysis.

E mail: dhcuong\_ncst@vnn.vn