

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 7
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年7月 第17卷 第7期(总第195期)

目次

综述

中国多媒体技术研究: 2011 史元春, 徐光祐, 高原(741)

图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 蒋平, 张建州(770)

图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 路子赟, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 何海清, 黄声享(853)

计算机图形学

应用最小生成树实现点云分割 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

医学图像处理

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 兰红, 张璐(873)

遥感图像处理

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

**中国图象图形学报**

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院

**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences

**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

**Chief editor** LI Xiaowen

**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

( Monthly , Started in 1996 )

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0880-06

论文引用格式: 许菡, 李小娟. Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 880-885.

## Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用

许菡, 李小娟

首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

**摘要:** 现有的遥感影像端元提取方法主要是从光谱特征角度提出, 而结合空间信息的端元提取方法是近些年遥感影像混合像元分解的研究热点, 为此使用图论的图像分割 Normalized Cut 与分水岭变换方法提出了一种改进的空间预处理模型用于高光谱遥感影像混合像元的端元提取。该方法在混合像元端元提取过程中不仅利用遥感影像的光谱信息而且引入了像元的空间位置信息, 实验结果表明本文提出的端元提取方法与现有的方法相比提高了遥感影像的混合像元分解精度。

**关键词:** 遥感影像分割; 分水岭变换; Normalized Cut; 端元提取; 高光谱数据

### Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation

Xu Han, Li Xiaojuan

College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

**Abstract:** As spatial information plays an important role in remote sensing analysis, more and more researchers pay focus on spectral-spatial endmember extraction. An improved endmember extraction method with a spatial preprocessing module, which uses watershed with normalized cuts to avoid over-segmentation and producing accurate results from spectral mixture analysis, is proposed in this paper. According to the experiment in this study the spatial-spectral endmember extraction method can generate a more accurate pixel un-mixing results during image segmentation.

**Key words:** remote sensing image segmentation; watershed transform; Normalized Cut; endmember extraction; hyperspectral satellite image

## 0 引言

端元提取是遥感影像混合像元线性解混的重要前提, 因为其直接影响混合像元分解的精度。尤其在 高光谱影像的地物分类和目标识别中运用广泛。到目前为止, 很多端元提取方法已经提出并应用于生产

中, 如纯像元指数(PPI)<sup>[1-2]</sup>、N-FINDR<sup>[3]</sup>算法、顶点成分分析法(VCA)<sup>[4]</sup>、迭代误差分析法(IEA)<sup>[5]</sup>、人机交互提取端元算法(MEST)<sup>[6]</sup>等。这些算法包含了自动和半自动端元提取方法, 但都是从光谱特征角度出发提取影像端元。如果将空间信息加入遥感影像的混合像元端元提取过程, 即从光谱特征和空间信息的角度提取端元, 算法将会有更进一步的提高。

收稿日期: 2011-08-02; 修回日期: 2012-02-22

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(200901091); 北京市自然科学基金项目(8101002)

第一作者简介: 许菡(1979—), 女, 首都师范大学地理信息系统专业博士研究生, 主要研究方向为遥感图像处理。E-mail: xuhan2009@gmail.com

近年来在端元提取技术中整合空间信息的研究已经展开,包括利用数学形态学方法自动提取端元的算法(AMEE)<sup>[7]</sup>、利用像元之间空间关系和光谱信息的空间-光谱端元提取算法(SSEE)<sup>[8]</sup>以及在端元提取之前的一些空间预处理方法。其中,基于数学形态学的端元提取方法计算效率较低,特别是针对整幅影像做运算的时候耗时较长;而空间-光谱端元提取算法利用奇异值分解得到的一系列矢量描述光谱变量并且利用像元之间的空间关系生成备选端元,该算法也将空间信息融入至端元提取的过程但由于需要设置较多的参数所以计算过程相对复杂。最近,学者还提出用于遥感影像端元提取的空间信息预处理模型,这些模型对影像做空间预处理后结合已有的基于光谱信息的端元提取方法提取端元。例如,非监督聚类、分水岭变换和空间纹理信息都可以加入至端元提取之前的影像空间预处理过程。但这些方法在针对端元提取前的影像分割仍存在很多不足之处,因此改进端元提取之前的遥感影像分割模型对提高端元提取的精度意义重大。

本文提出利用 Normalized Cut 和分水岭相结合的方法改进端元提取空间预处理模型,为了降低计算复杂度采用2次分水岭的方法减少分割后的区域个数,该方法可以避免单独使用分水岭分割造成的过分割现象和遗漏端元现象,并且提高计算速度。结合图论中的 Normalized Cut 方法对分水岭分割后的影像结果重新构造权值矩阵,加入空间信息,使处理后影像得到光谱纯度更高并且具有空间相似性的端元,利用提取的端元点对影像线性解混取得较好的实验结果。

## 1 实验方法

通过分析 Normalized Cut 与分水岭分割影像的优点、以及高光谱遥感影像的特点,提出将二者相结合分割高光谱影像的方法。由于分水岭变换在分割图像时可以得到封闭区域,并且计算速度较快,是一种常用的影像分割方法,但其对噪声敏感会产生大量过分割区域。而 Normalized Cut 可根据图像的不同特征同时得到同一区域集合的相似性和不同区域集合的差异性,并解决了分割出孤立噪声点的问题,所以 Normalized Cut 可以有效解决分水岭变换中产生的过分割现象。分水岭变换产生的各个区域灰度最小值点即是每个分割区域的集水盆最低点,是对影像某一区域分割后最具该区域地物光谱特性的

点,可以作为影像端元备选点。根据地物光谱库筛选出可靠性较高的端元点后,对高光谱图像进行影像解混,得到较好的影像解混结果。

本文提出的选取高光谱影像端元点方法,不仅结合了影像像元的空间位置信息,而且更具有根据像元空间位置及其地物光谱特性选择最具代表性端元点的优势,由于使用 Normalized Cut 和2次分水岭变换结合的分割方法,在减少过分割的同时还具有较高的数据处理效率。本文方法的逻辑框图如图1所示。

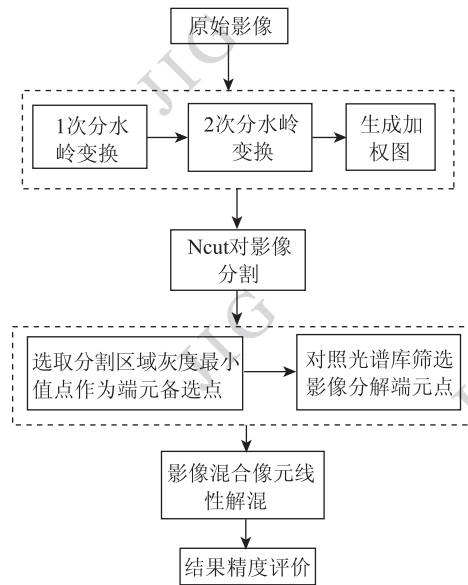


图1 逻辑框图

Fig. 1 Logic chart of our algorithm

### 1.1 基于 Normalized Cut 和分水岭变换的高光谱影像端元提取方法

#### 1.1.1 2次分水岭变换分割高光谱影像

分水岭算法是数学形态学分割方法中的经典算法,该算法将影像看作是地形学上被水覆盖的自然地貌,影像中的每一像素的灰度值表示该点的海拔高度,其每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆,集水盆的边界则是分水岭,在各极小区域的表面打一个小孔,同时让水从小孔中涌出,并慢慢淹没极小区域周围的区域,那么各极小区域波及的范围,即是相应的集水盆,对应影像中的区域;不同区域的水流相遇时的界限,就是期望得到的分水岭,对应区域的边缘。分水岭变换可以保证分割区域的连续性和封闭性。由 Vincent<sup>[9]</sup>提出的梯度分水岭算法,先使用梯度幅度对输入图像预处理,梯度幅度图像沿对象边缘具有较高像素值,其他地方具有较低像素值;分水岭

变换会沿对象边缘产生分水岭脊线。输入图像  $f(x, y)$  的梯度图像  $F_\theta(x, y)$ , 对梯度图像进行淹没计算。

$$F_\theta(x, y) = \left\{ \frac{1}{2} [(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \times \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中

$$\begin{aligned} g_{xx} &= \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2 \\ g_{yy} &= \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2 \\ g_{xy} &= \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right| \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right| + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right| \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right| + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right| \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right| \\ \theta(x, y) &= \frac{1}{2} \arctan \left[ \frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}} \right] \end{aligned}$$

2次分水岭是将1次分水岭变换中得到的梯度图像使用的是形态学中的闭-开运算进行平滑<sup>[10]</sup>, 对平滑结果进行标准分水岭变换。

$$\text{开运算: } A \circ B = (A \cdot B) \oplus B \quad (2)$$

$$\text{闭运算: } A \cdot B = (A \oplus B) \cdot B \quad (3)$$

式中,  $A \oplus B = \{z | [(B)_z \cap A] \subseteq A\}$ ,  $A \cdot B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$

在很多领域,这种分割技术都得到了广泛应用,但分水岭变换是从局部极小点开始,即只能在梯度图中用,原始图转换后才能用于分水岭变换的,一般图像中存在多个极小值点,容易产生过分割,对于噪声和细密纹理非常敏感,会产生严重的过分割结果。2次分水岭变换可以有效降低图像过分割现象并且保证了算法的计算效率。本文采用梯度分水岭进行图像分割。先使用梯度对输入的图像进行预处理,梯度图像沿对象边缘处具有比较高的像素值,而其他的地方会有比较低的像素值。

### 1.1.2 Normalized Cut 分割原理

Shi 和 Malik<sup>[11]</sup>在最小割的基础上,从考虑图像的整体特征出发提出归一化割(Normalized Cut),该方法能同时度量不同区域集合间的差异性和同一区域集合的相似性,用于解决图像分割与聚类中的问题。该方法对一幅输入的图像或一个特征点集建立一个加权无向图,每一个像素或者特征点代表图中的一个节点,边上的权值代表像素或者特征点之间的近似关系,然后在所建立的图上寻找一个正规化的最小割,来对图中的节点进行划分,进而可以完成对图像或者特征点集的分割。

假设一个给定的加权图  $G = (V, E, W)$ , 式中,

$V$  是图中所有的节点的集合,而  $E$  就是连接节点的边的集合,  $w(i, j)$  是衡量任意两节点间的相似性的权值矩阵<sup>[12]</sup>

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{asso(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{asso(B, V)} \quad (4)$$

式中,  $cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(i, j)$ ,  $asso(A, V) = \sum_{u \in A, k \in V} w(i, k)$  表示集合  $A$  中的节点与所有节点  $V$  之间权值的和。Ncut 特征值的值可以按式(5)计算。

$$(D - W)y = \lambda Dy \quad (5)$$

式中,  $D$  是一个  $N \times N$  对角矩阵, 对角线上元素  $d = \sum_j w(i, j)$ ,  $W$  表示  $N \times N$  对称矩阵  $w(i, j)$ 。由于拉普拉斯矩阵最小特征值是 0, 所以取第 2 小特征值作为真实值计算 Normalized cut。

定义基于像素之间距离和相似度的权值  $W$  为

$$W_{ij} = e\left(\frac{\|I_i - I_j\|^2}{\partial_i}\right) \cdot e\left(\frac{\|X_i - X_j\|^2}{\partial_x}\right) \quad (6)$$

式中,  $I_i$  和  $I_j$  表示像素  $i$  和  $j$  的灰度值平均;  $X_i$  和  $X_j$  表示像素  $i$  和  $j$  的空间位置;  $\partial_i$  表示像素灰度值的方差,  $\partial_x$  表示像素位置方差。

### 1.1.3 影像加权图构造及端元点选取

利用分水岭变换对影像进行预处理之后,将所得的结果构造成 1 个加权图。构造权值矩阵之前需要先定义特征空间。从小区域提取出的颜色、纹理、统计特性以及形状都可以作为分割所需要的特征。本文选择灰度值以及各个区域对应节点间的空间距离作为构造加权图的主要特征,每个节点的灰度值用向量表示。假设经分水岭变换后影像被分为  $n$  个区域  $k_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  每个区域对应节点的灰度值向量  $I_{k_i}$ 。则权值表达式可表示为

$$W_{ij} = e\left(\frac{\|I_{k_i} - I_{k_j}\|^2}{\partial_i}\right) \cdot e\left(\frac{\|X_{k_i} - X_{k_j}\|^2}{\partial_x}\right) \quad (7)$$

式中,  $I_{k_i}$  和  $I_{k_j}$  表示分水岭变换后每个区域的灰度平均值;  $X_{k_i}$  和  $X_{k_j}$  表示分水岭变换后每个区域的灰度最小点值之间空间位置;  $\partial_i$  表示区域灰度平均值的方差,  $\partial_x$  表示区域灰度最小点位置方差。

经加权变换后影像进行 Normalized cut 分割并选取灰度值最小点即每个分割区域的集水盆最低点,代表影像某一区域分割后该区域地物光谱特性的点,作为影像备选端元。最后,对照地物光谱库筛选出可靠性较高的端元点并进行高光谱影像解混。

### 1.2 高光谱影像线性解混

分水岭变换和 Normalized cut 分割处理后的影

像,由分水岭变换结果得到加权图,并利用 Normalized Cut 分割思想将影像划分为新的区域,由影像灰度特征确定的灰度分割区域代表该区域内像元具有相似的光谱特征,分水岭变换产生的各个区域灰度最小值点即每个分割区域的集水盆最低点,是分割影像后该区域地物光谱特性的代表点,作为影像分解的端元备选点,由波谱库已知地物波谱对其进行定量比较,挑选出端元点进行影像解混。

本文基于线性光谱混合模型对高光谱实验影像进行分解,该方法假定像元光谱是各组分光谱的线性组合,具有模型简单、效率高、物理意义明确的优势,是目前国内外应用最广泛的混合像元分类模型。混合像元线性分解模型为

$$R_{ib} = \sum_{k=1}^n f_{ki} C_{kb} + \varepsilon_{ib} \quad (8)$$

其约束条件为

$$\sum_{k=1}^n f_{ki} = 1 \quad (9)$$

$$0 \leq f_{ki} \leq 1 \quad (10)$$

式中, $R_{ib}$ 为第  $b$  波段第  $i$  像元的光谱反射率; $f_{ki}$ 为对应于  $i$  像元的第  $k$  个基本组分所占分量值; $C_{kb}$ 为第  $k$  个基本组分在第  $b$  波段的光谱反射率; $n$  为像元  $i$  所包含的基本组分数目。并通过误差  $\varepsilon_i$  来评价模型的优劣。

$$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{\sum_{b=1}^m \varepsilon_{ib}^2}{m}} \quad (11)$$

各影像像元中基本组分的比例可以通过最小二乘法来得到,该算法的基本思想是求取使误差  $\varepsilon_i$  最小的解。而通过引入不同的约束条件,得到相应的分解策略:若不考虑约束条件式,即仅使误差最小,称为无约束条件的线性光谱分解(Unconstrained);在满足约束条件式(9)的前提下,使误差最小的策略可称之为带部分约束条件的线性光谱分解(partial-constrained);满足约束条件式(9)(10),使误差最小的策略称之为带全约束条件的线性光谱分解(fully-constrained)。

## 2 实验结果

### 2.1 实验数据

本实验采用的数据是采用 AVIRIS 于 1995 年获取的 Cuprite 地区影像(图 2),该数据是经过了

ATREM 大气校正后进一步进行了 EFFORT 纠正的表观反射率数据<sup>[13]</sup>,波长范围  $2 \sim 2.5 \mu\text{m}$  共计 50 波段,截取影像大小为  $160 \times 160$  像素。

由于高光谱数据光谱分辨率高,使得图像数据在信息量丰富的同时存在冗余和噪声,因此影像分割前对数据进行降维去噪处理。常用的降维算法有主成分分析法(PCA)、最小噪声法(MNF)、奇异值分解(SVD)算法等。由于 MNF 分析从空间维上对图像特征进行分析,本文利用高光谱数据的空间特征进行端元提取,故使用最小噪声法进行数据压缩。最小噪声法用于判定图像数据内在的维数(即波段数),分离数据中的噪声,减少数据处理中的计算需求量。

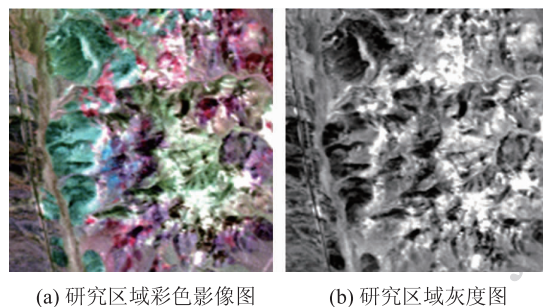


图 2 影像图

Fig. 2 Research image

### 2.2 结果与分析

#### 2.2.1 基于分水岭变换的影像分割提取端元

Cuprite 研究区域  $160 \times 160$  截取影像经 MNF 变换,以特征值最大的第 1 波段灰度影像作为研究对象,经过分水岭 1 次变换和 2 次变换后分割结果如图 3 所示。

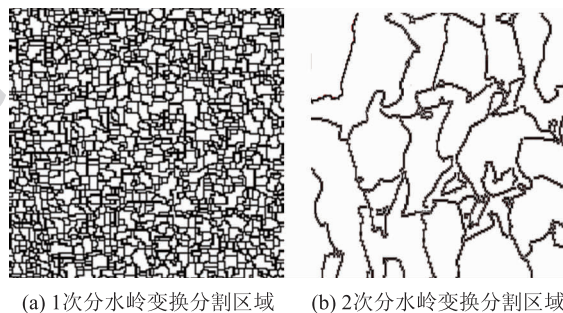
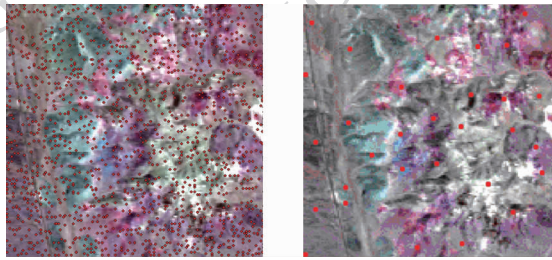


图 3 分水岭变换分割结果

Fig. 3 Result of watershed segmentation

影像经过分水岭变换每个分割区域提取出 1 个端元点,因此图 4(a) 1 次分水岭变换后分割区域提

取出 1 303 个备选端元点,图 4(b)2 次分水岭变换后分割区域提取出 30 个备选端元点。



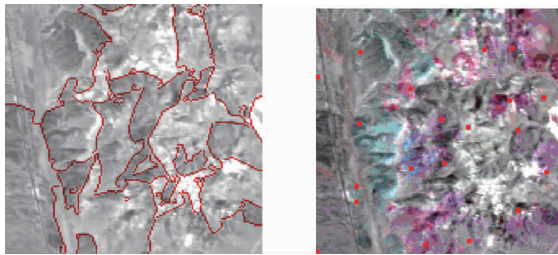
(a) 1次分水岭变换 (b) 2次分水岭变换

图 4 分割后端元备选点

Fig. 4 Endmember candidate of segmentation

### 2.2.2 基于分水岭和 Normalized cut 变换影像分割提取端元

1) 利用分水岭变换对影像进行预处理之后,将所得的结果构造成一个加权图。灰度值作为主要特征,每个分割区域提取的端元点作为节点,节点的灰度值用向量表示,构成特征空间。图 5 为影像经过 Normalized cut 变换后的分割区域及区域内提取的端元点。



(a) Normalized cut变换后分割区域共20个 (b) Normalized cut变换后分割区域提取的20个备选端元点

图 5 Normalized cut 变换后分割区域端元备选点

Fig. 5 Endmember candidate of segmentation

### 2) 利用光谱角度匹配判定解混端元点

光谱角度匹配(SAM)方法把光谱看做多维矢量,计算两光谱向量的广义夹角,夹角越小,光谱越相似,按照给定的相似性的阈值将未知光谱进行分类。本文将提取的影像端元光谱与波谱库光谱进行匹配并计算相似度,相似度越高提取的端元越纯,与光谱库矿物曲线匹配越好。将提取的 20 个备选端元点按照实验选取的光谱分析方法进行匹配比较,并做光谱识别判定,选取匹配最好的 7 个端元点对影像解混。解混端元点曲线与光谱库矿物曲线比较如图 6 所示。

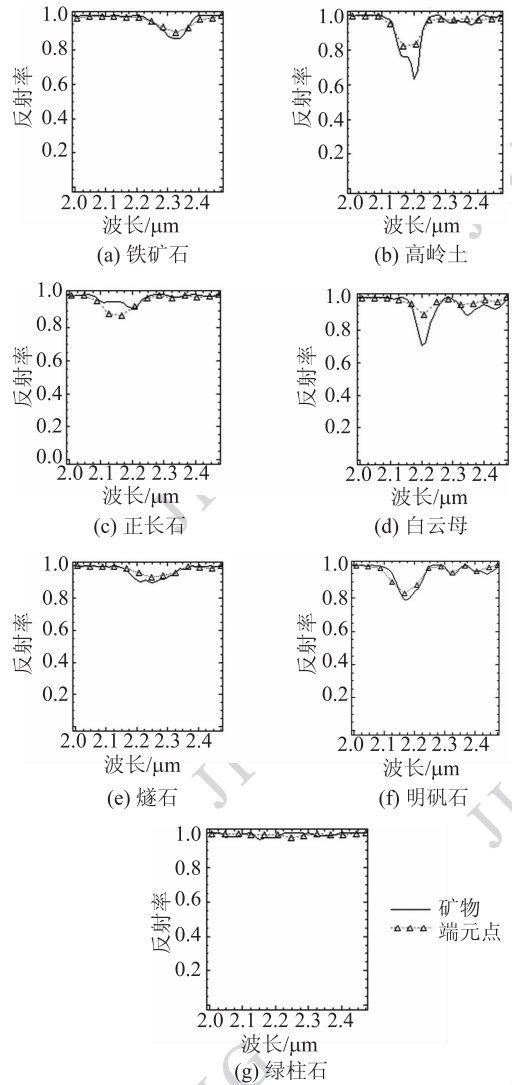


图 6 提取端元曲线图

Fig. 6 Endmember spectral curve

然后,由所选端元点对影像进行混合像元解混,亮度越高说明分解的丰度影像所含该类型矿物质含量越高,相反则含该类型矿物质越少,所得各种矿物丰度图结果如图 7 所示。

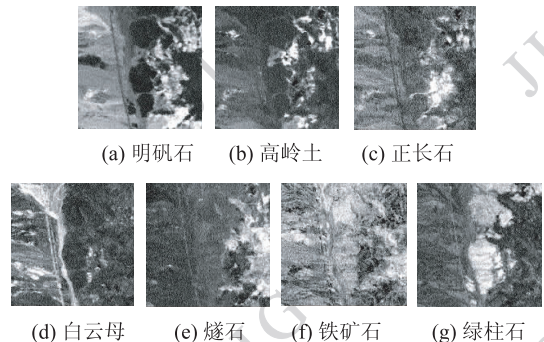


图 7 影像混合像元分解图

Fig. 7 Unmixing result of image

### 2.2.3 实验解混精度评价

使用广泛应用的均方根误差指标来衡量混合像元解混结果的优劣。设  $s_i$  为原图像中某类地物所占的百分比,  $s_j$  为分解得到的结果,两种方法得到的结果与原图像中地物百分比的误差为

$$\text{RMSE}_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - s_j)^2} \quad (12)$$

由表1可以看出,使用分水岭变换与Normalized cut 结合的图像分割方法将影像根据光谱特征区分不同的分割区域提取各个区域的典型地物光谱端元点,其混合像元线性分解 RMSE 误差优于 VCA 和 N-FINDR,该方法将影像端元点的空间信息用于混合像元分解可以得到较好的分解效果。

表1 不同端元提取方法分解混合像元结果的 RMSE 对比

Table 1 Comparison of unmixing image results of Ncut & Watershed, VCA and N-FINDR

|     | Ncut & Watershed | VCA   | N-FINDR |
|-----|------------------|-------|---------|
| 铁矿石 | 0.173            | 0.182 | 0.176   |
| 高岭土 | 0.212            | 0.235 | 0.246   |
| 正长石 | 0.152            | 0.157 | 0.169   |
| 白云母 | 0.181            | 0.190 | 0.187   |
| 燧石  | 0.164            | 0.172 | 0.189   |
| 明矾石 | 0.143            | 0.157 | 0.176   |
| 绿柱石 | 0.202            | 0.283 | 0.209   |

## 3 结 论

本文提出了一种基于图像分割的高光谱影像端元提取方法,即分水岭变换与 Normalized cut 结合的图像分割方法。该方法根据光谱特征将高光谱影像划分为封闭区域,并由各个区域光谱特征得到代表该区域典型地物特征的像元点作为端元备选点,对比地物光谱库筛选出纯净端元点并对影像解混。本文提出的端元提取方法将遥感影像端元点的空间位置信息加入提取过程,实验表明使用具有空间信息的端元点进行影像混合像元分解,得到较好的分解结果。

### 参考文献 (References)

[1] Boardman J W. Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts [C]// Summaries Of The Fourth

Annual JPL Airborne Geoscience Workshop. Washington, America: JPL Publication, 1993:93-26.

- [2] Boardman J W, Kruse F A, Green R O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data [C]// Summaries Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop. Washington, America: JPL Publication, 1995, 95(1): 23-26.
- [3] Winter M E. Fast autonomous spectral endmember determination in hyperspectral data [C]// Proceedings of The Thirteenth International Conference On Applied Geologic Remote Sensing. Coffeyville, Canada: ERIM International LTD. 1999: 337-344.
- [4] Nascimento J M P, Dias J M B. Vertex component analysis: a fast algorithm to unmix hyperspectral data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(2): 898-910.
- [5] Neville R A, Staenz K, Szereci T. Automatic endmember extraction from hyperspectral data for mineral exploration [C]// Fourth International Airborne Remote Sensing Conference And Exhibition / 21st Canadian Symposium on Remote Sensing. Ottawa, Ontario, Canada: Natural Resources Canada. 1999: 21-24.
- [6] Bateson A, Curtiss B. A method for manual endmember selection and spectral unmixing [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55(3): 229-243.
- [7] Plaza A, Martinez P, Perez R. Spatial/spectral endmember extraction by multidimensional morphological operations [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(2):2025-2041.
- [8] Rogge D M, Rivard B, Zhang J. Integration of spatial-spectral information for the improved extraction of endmembers [J]. Remote Sensing Environment, 2007, 110(3): 287-303.
- [9] Vincent L. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulation [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991, 13(6): 538-598.
- [10] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing [M]. New Jersey, America: Prentice-Hall, 2002: 315-320.
- [11] Shi J B, Malik. J. Normalized cuts and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000, 22(8):888-905.
- [12] Yang Y P, Zhao W D, Wang Z C, et al. Research on Graph-based Normalized Cut Image Segmentation Method [J]. Computer and Modernization. 2010, 173(12): 113-116. [杨宇鹏, 赵卫东, 王左成, 等. 基于图论的 Normalized Cut 图像分割方法研究 [J]. 计算机与现代化. 2010, 173(12):113-116.
- [13] Zhao W J, Duan F Z, Lui X M, et al. ENVI Remote Sensing Image Processing and Practice [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2008:213-215. [赵文吉, 段福州, 刘晓萌, 等. ENVI 遥感影像处理专题与实践 [M] 北京: 中国环境科学出版社, 2008:213-215.]