

# 一种改进的高光谱图像波段选择方法

任晓东 雷武虎 谷 雨 赵青松

(脉冲功率激光技术国家重点实验室 合肥 230037) (安徽省电子制约技术重点实验室 合肥 230037)  
(电子工程学院 合肥 230037)

**摘 要** 根据高光谱波段选择的基本准则,将子空间划分、基于矩阵模式的高光谱波段选择方法(BSMM)、波段指数(OIF)三者相结合,提出了一种新的波段选择方法 ABO。该方法首先根据各波段之间的相关性进行子空间划分;然后,在全波段范围内利用基于矩阵模式的高光谱波段选择方法得到单一量化指标  $W$ ,选出各子空间中量化指标  $W$  取最大值所对应的波段;其次,针对已选波段计算任意 3 个波段的波段指数(OIF),波段指数最大值所对应的 3 个波段即为所选波段;最后,利用 AVIRIS 真实高光谱数据进行仿真实验,对所选 3 个波段进行 RGB 合成与 HSV 变换以及 RX 异常检测,通过与以往波段选择方法进行对比验证了所提方法的有效性。

**关键词** 高光谱,波段选择,相关系数,子空间

**中图分类号** TP751.1 **文献标识码** A

## Improved Band Selection Method for Hyperspectral Imagery

REN Xiao-dong LEI Wu-hu GU Yu ZHAO Qing-song

(State Key Laboratory of Pulse Power Laser Technology, Hefei 230037, China)

(Key Laboratory of Electronic Restriction, Hefei 230037, China) (Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

**Abstract** Based on the principles of band selection, in this paper, a new method of band selection, named ABO, was proposed by combining the subspace partition, the band selection method based on matrix mode (BSMM), and the optimum index factor (OIF). In ABO, firstly, based on the correlation of bands, all bands are divided into different subspaces. Then, the index “ $W$ ” is gotten through the method of BSMM, and only one band is selected in each subspace, in which the selected band has the maximal “ $W$ ”. After this, the OIF from each three bands of the selected is calculated. At last, the new method is tested by the real hyperspectral remote sensing imagery, and the three selected bands is carried on RGB synthesis, HSV transformation and the RX anomaly detection. The results show that the proposed method has the best effect.

**Keywords** Hyperspectral, Band selection, Correlation, Subspace

## 1 引言

高光谱遥感具有波段连续、维数高、大数据量、高冗余度的特点。如何从原始数据中得到相关性小、维数低、信息量大且冗余度小的高光谱数据已经成为高光谱应用中一项重要研究课题。

高光谱遥感图像的光谱分辨率高达  $10^{-2}\lambda$ ,而自然界多类地物的光谱吸收特征在吸收峰深度一半处的宽度为 20~40nm,从而使得利用高光谱对地物进行精确分类有了跨越式的发展。高光谱图像数据量大且存在较高的谱间相关性和空间相关性,使得大量冗余信息存在于高光谱数据中,这对分类效果和分类精度带来了很大影响,同时也增加了运算量。因此,对高光谱数据进行有效降维已成为高光谱研究的一项关键技术。

高光谱图像常用降维的方法主要有两类:一类是基于变

换的特征提取方法,包括:独立分量分析(ICA)、主成分分析(PCA)、最小噪声分离(MNF)、小波变换(WT)等。特征提取方法的优点是若干变换能够将高维数据降低到几维甚至一维,而且降维所需时间短;缺点是改变了图像的原有特性。另一类是基于非变换的波段选择方法,常用波段选择方法有自适应波段选择(ABS)、最佳指数法(OIF)、自动子空间划分法(ASP)、最大熵法等,波段选择法没有改变图像特性,图像的原有特性得到了很好保留。基于此,研究通过波段选择的方法来降低高光谱数据的维数具有重要的实际应用价值。

而在上述波段选择方法中,最大熵法仅考虑了信息量的问题,最佳指数法(OIF)最终目标是选择波段标准差最大且波段间相关系数最小的波段,虽然该方法考虑到了波段信息量和波段间相关的问题,但对高光谱处理来说,计算量过于庞大。自适应波段选择(ABS)法以各波段标准差与相邻波段相关系数的比值作为各波段图像的指数,并根据指数的大小选

本文受国家自然科学基金(61271353),安徽省自然科学基金(KY11070)资助。

**任晓东**(1991—),男,硕士,主要研究方向为高光谱遥感信息处理技术,E-mail: rxd116man@163.com; **雷武虎**(1965—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为空间光电信息处理,E-mail: leiwhy263.net。

择波段。ABS 只考虑各波段与相邻波段的相关系数,大大减少了计算量,但是 ABS 往往容易选出与相邻波段间相关关系弱的波段,而不是真正有代表性的波段,所选择出来的波段组合也未必是最优的。自动子空间划分(ASP)的方法通过近邻波段相关系数将高光谱数据空间划分为适合的数据子空间,再在子空间内进行波段选择。基于矩阵模式的高光谱波段选择方法(BSMM)综合考虑了波段相关性与信息量,提出了矩阵因子的概念,但是所选的多个波段可能分布在同一子空间,难以达到最佳降维效果。

为了充分利用上述各波段选择方法的优点,本文提出了一种新的波段选择方法,称为 ABO。该方法首先根据各波段之间的相关性进行粗略的子空间划分,进而根据相邻波段间的相关性进行子空间的精确划分;然后,在全波段范围内利用基于矩阵模式的高光谱波段选择方法得到单一量化指标  $W$ ,选出各子空间中量化指标  $W$  取最大值所对应的波段;其次,针对已选波段计算任意 3 个波段的波段指数(OIF),波段指数最大值所对应的 3 个波段即为所选波段;最后,利用 AVIRIS 真实高光谱数据进行仿真实验,对所选 3 个波段进行 RGB 合成与 HSV 变换以及 RX 异常检测,通过与以往波段选择方法中的自适应波段选择法(ABS)、最佳指数法(OIF)、自动子空间划分法(ASP)、最大熵法进行对比,得出本文方法优于其他方法。

## 2 高光谱影像 ABO 波段选择方法

### 2.1 波段选择的基本准则<sup>[7]</sup>

- A. 从信息论的方面考虑,最终所选的波段或者波段组合要有最大信息量。
- B. 从数理统计方面考虑,最终得到的波段相关性要弱,从而保证了各波段的独立性和有效性。
- C. 从光谱学方面考虑,感兴趣目标地物的光谱特征差异要最大。
- D. 从分类方面考虑,所选择的波段组合使地物类别可分性最强。

那些信息含量多、相关性小、地物光谱差异大、可分性好的波段就是应该选择的波段。

### 2.2 ABO 波段选择步骤

#### 2.2.1 高光谱影像子空间划分<sup>[2]</sup>

高光谱数据波段数量多,波段之间相关性强,信息冗余高,从而使数据处理难度加大。为了优质高效地利用高光谱数据的丰富信息,可以对原始数据进行子空间划分,然后再从各子空间提取优质波段。

首先求得各个波段间的相关系数,获得各波段间的相关系数矩阵,利用其可视化“成块”特点对子空间进行粗略划分。设高光谱数据共有  $K$  个波段,每个波段影像所含像元个数均为  $M \times N$ ,第  $i$  波段像元灰度值为  $a_{m,n}^i, m=1,2,\dots,M, n=1,2,\dots,N, i=1,2,\dots,K$ ,则任意两波段间的相关系数为:

$$f_{i,j} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^i - \bar{a}^i)(a_{m,n}^j - \bar{a}^j)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^i - \bar{a}^i)^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^j - \bar{a}^j)^2}} \quad (1)$$

其中,  $i, j=1,2,3,\dots,k, \bar{a}^i, \bar{a}^j$  分别为第  $i, j$  波段影像像元的平均灰度值。 $f_{i,j}$  的值越大,则  $i, j$  两波段的相关性越强,由所有的  $f_{i,j}$  得到波段间的相关矩阵  $F \in R^{k \times k}$ ,易知  $F$  是一个

对称矩阵。依据矩阵  $F$  的灰度图可对高光谱波段进行粗略子空间划分。

然后,由于高光谱图像中波段越是临近,其相关性强大,波段相距越远其相关性越弱,因此,可依据相邻波段的相关性对高光谱波段进行精确子空间划分。相邻波段相关性为:

$$\begin{aligned} \text{Near}(i) &= f_{i,i+1} \\ &= \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^i - \bar{a}^i)(a_{m,n}^{i+1} - \bar{a}^{i+1})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^i - \bar{a}^i)^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^{i+1} - \bar{a}^{i+1})^2}} \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $i=1,2,3,\dots,k-1$ ,可以得到  $\text{Near}$  函数的图像,寻找  $\text{Near}$  函数的极小值点,结合  $F$  矩阵的粗略子空间划分,可得到高光谱波段的精确子空间划分。

#### 2.2.2 在全波段范围利用 BSMM 法计算各波段单一量化指标 $w$

信息熵和标准差是常见的度量空间维信息量大小的主要指标,这两个指标为绝对指标,不能消除均值的影响。离散系数却能很好地解决这一问题。离散系数是标准差与均值的比值,能够较好地衡量数据离散程度,它能够消除因平均值不同而产生的对两组数据变异程度比较的影响。第  $i$  波段影像的标准差为

$$\sigma(i) = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (a_{m,n}^i - \bar{a}^i)^2 / (M \times N)} \quad (3)$$

离散系数(CV)为:

$$c(i) = \sigma(i) / \bar{a}^i \quad (4)$$

$c(i)$  值越大,说明第  $i$  波段影像所含信息量越大,为了充分发挥波段选择中波段相关性的作用,对  $c(i)$  进行区间映射:

$$c(i) = (F_{\max} - F_{\min})(c_k - c_{\min}) / (c_k - c_{\min}) + F_{\min} \quad (5)$$

为了得到信息量大、波段相关性小的最佳波段组合,将离散系数和相关系数联合起来构造得到矩阵因子  $m(i, j)$  如下:

$$m(i, j) = c(i) \times c(j) / f_{i,j} \quad (6)$$

由(6)式可以看出,一般情况下  $m(i, j)$  相对越大,两波段不仅所含信息量越大而且相关性越弱。所有的  $m(i, j)$  形成矩阵  $M \in R^{K \times K}$ ,从全局范围看,为了从  $K$  个波段中选择最佳波段组合,对  $M$  进行单一量化指标计算:

$$w(i) = \sum_{j=1}^K m_{i,j}^2 \quad (7)$$

该指标越大,则表示第  $i$  波段在与其他所有波段对比中所含信息量越大,与其它波段的相关性越弱。在各子空间中选取单一量化指标  $w(i)$  最大的波段作为候选波段。

#### 2.2.3 利用波段指数 OIF 选取最佳 3 个波段

由于高光谱数据量大,波段多,一般子空间划分个数多于 3 个,因此通过前两个步骤选出的波段数多于 3 个。在候选波段子集中计算任意 3 个波段的波段指数,选取波段指数最大值对应的 3 个波段,计算公式为:

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{i=1}^3 s_i}{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 |f_{i,j}|} \quad (8)$$

## 3 仿真实验及结果分析

### 3.1 实验数据描述

本文所选高光谱影像数据是美国圣地亚哥海军基地飞机场数据,共 224 个波段,整个影像大小是  $400 \times 400$  像素。利用 ENVI 遥感软件对整个高光谱影像进行预处理,包括图像

坐标配准、大气校正、几何校正等;通过预处理去除了坏波段,保留了其中的 189 个有效波段。考虑到高光谱影像数据量大,因此截取了整幅影像中包含感兴趣目标的部分区域作为实验数据,剪裁后的影像大小为  $60 \times 70$  像素。图 1 为原始图像  $400 \times 400$  像素的第 10 波段图像;图 2 为剪切后影像大小为  $60 \times 70$  像素的第 10 波段图像,识别目标为飞机;图 3 为目标飞机的标准图。



图 1 原始图像第 10 波段



图 2 剪切图像



图 3 飞机标准图

### 3.2 实验过程

实验将本算法对飞机目标的提取效果与采用常用的波段选择方法的效果进行对比,常用的波段选择方法有自适应波段选择算法 (ABS)、自动自空间划分法 (ASP)、最佳指数法 (OIF)、最大熵算法等。选择三波段组合进行仿真实验。

#### 3.2.1 高光谱影像子空间划分

首先,利用式(1)计算得到的各波段间的相关系数  $f_{i,j}$  组合成相关系数矩阵  $F$ ,该矩阵包括  $189 \times 189$  个元素,图 4 为矩阵  $F$  的可视化形式,该图具有特征矩阵的“分块”特性。通过观察灰度图像的色彩变化对成块矩阵进行粗略分块;再利用式(2)计算相邻波段间的相关系数  $Near(i)$ ,图 5 为  $Near(i)$  的函数图,利用相邻波段相关系数的极小值位置来对波段子空间进行精确的划分。得到的 5 个子空间为:1~63; 64~96;97~135;136~149;150~189。



图 4 相关系数矩阵灰度图

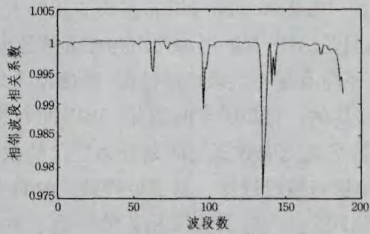


图 5 相邻波段相关系数

#### 3.2.2 在全波段范围计算单一量化指标

在波段子空间划分完成后,根据式(7)在每个子空间中提取  $w(i)$  取得最大值所对应的波段  $i$ ,一共提取了 5 个波段,波段序号为[1,64,136,149,172]。图 6 为单一量化指标  $w(i)$  函数图。

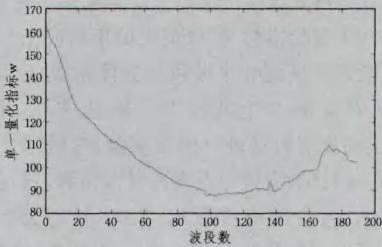


图 6 单一量化指标

#### 3.2.3 利用 OIF 选取最佳 3 个波段

从已选的 5 个波段中根据式(8)计算得到波段指数最大的 3 个波段为[1,149,172],此即为本文方法选出的最佳三波段组合。为了说明本文方法的优劣性,用常用的自适应波段选择算法 (ABS)、自动子空间划分法 (ASP)、最佳指数法 (OIF)、最大熵算法对实验所用高光谱图像进行波段选择,同样选取 3 个波段进行进一步对比分析。表 1 为各方法所选择的波段序号。

表 1 各方法所选择的波段

| 波段选择方法         | 选出的 3 个波段   |
|----------------|-------------|
| 最大熵法           | 185,186,188 |
| 自适应波段选择法 (ABS) | 11,12,13    |
| 最佳指数法 (OIF)    | 11,12,13    |
| 自动子空间划分 (ASP)  | 127,136,185 |
| 本文所提的 ABO 法    | 1,149,172   |

通过最大熵算法得到的最佳波段组合为[185,186,188],其 3 个波段都集中在第 5 子空间。通过最佳指数法 (OIF) 与自适应波段选择法 (ABS) 得到的 3 个波段组合均为为[11,12,13],3 个波段集中在第 1 子空间;通过自动自空间划分法 (ASP) 得到的最佳波段组合为[127,136,185],分别分布在第 3、4、5 子空间;利用本文算法得到的最佳波段组合为[1,149,172],分别在第 1、4、5 子空间。可以看出,在克服相关性方面本文方法 ABO 与 ASP 方法效果较好。通过对所选波段进行 RGB、HSV 转换以及 RX 异常检测来进一步对比分析各波段选择方法的优劣。

#### 3.2.4 进行 RGB 合成与 HSV 变换

由于在 RGB 色彩空间中,一般情况下,目标与背景色彩差别比较大,因此目标与背景变得容易区分。

虽然 RGB 色彩空间符合人类的色彩感知方式,然而很难在其色彩空间中确定出很好的阈值来找出目标区域,所以我



们将其转换至 HSV 色彩空间,这样只需要简单设定  $H$  值来划分阈值,就能够很好地将 RGB 色彩进行分类,这样就能得到含有目标特征的区域,称为目标疑似区。图 7 为各种波段选择方法的 RGB 合成图像,图 8 为 HSV 合成图像。

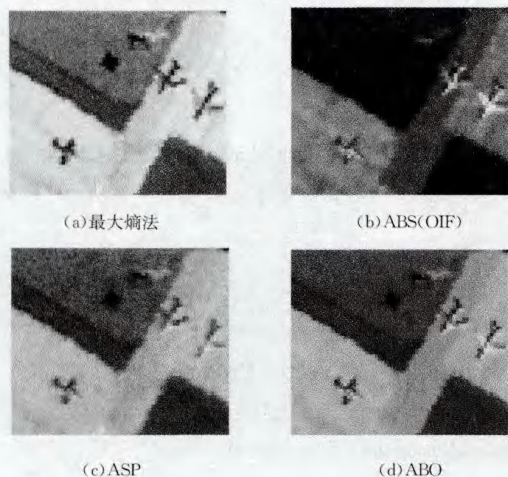


图 7 RGB 合成图像

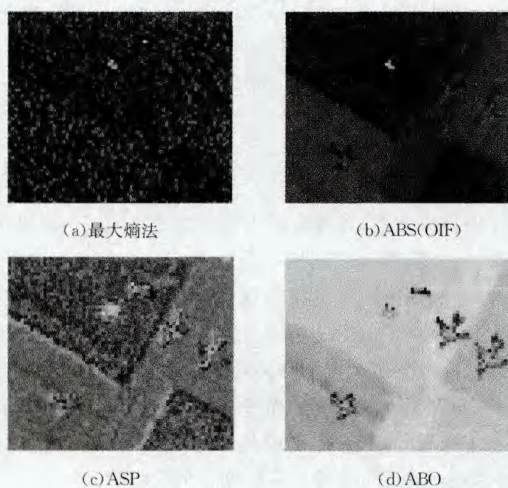


图 8 HSV 合成图像

通过对 5 种方法选取的波段组合进行 RGB 假彩色图像合成可知,采用以往的波段选择方法得到的假彩色图像基本呈黑白状态,对目标的分辨率较低,不利于人眼识别,而本文方法所选波段的假彩色合成图像取得了很好的效果,分辨率很高,可以更加清晰地分辨出目标。

对 5 种方法选取的波段组合进行 RGB 假彩色图像到 HSV 色彩空间变换后,本文方法所选波段的 HSV 合成图像更易识别目标飞机,分辨率很高,可以更加清晰地分辨出目标,明显优于其他 4 种方法。由此可以得出本文方法较以往常用的波段选择方法具有更好的目标识别效果。为了进行一个精确、定量的比较,下面进行异常检测,以进一步说明算法优劣。

### 3.2.5 RX 异常检测

为验证本文所提的波段选择方法 (ABO) 在异常检测方面的效能,将本文方法与常用的自适应波段选择算法 (ABS)、自动子空间划分法 (ASP)、最佳指数法 (OIF)、最大熵算法所选择的波段用于异常检测,检测方法用经典的 RX 异

常检测算法。设定阈值为 7,比较结果如图 9 所示,可以得出本文方法较以往常用的波段选择方法能够更好地对异常目标进行识别。同时可以看出,ABS、ASP、OIF 在不同背景的边界地区虚警较高,而本文方法克服了这个问题。

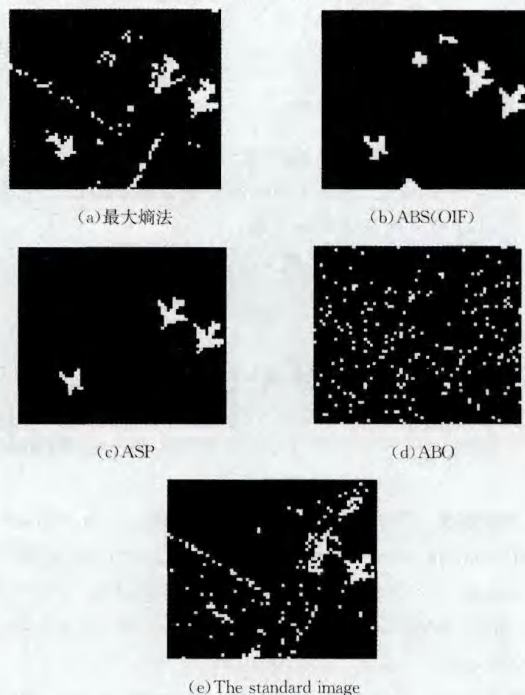


图 9 RX 异常检测效果图

为了进一步定量分析异常检测效果,绘制了接收机操作特性 (ROC) 曲线,ROC 曲线用于描述探测率与虚警率之间的关系,能够提供目标探测算子的定量分析。图 10 给出了 RX 异常检测下的 ROC 曲线,横坐标为虚警率 (Probability of False Alarm),纵坐标为探测率 (Probability of Detection)。

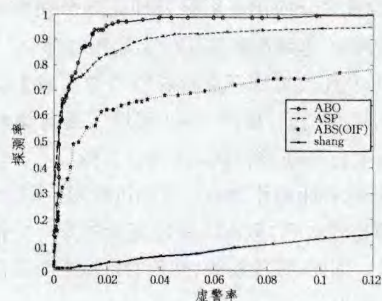


图 10 ROC 曲线

通过 ROC 曲线可以看出,虚警率较小时 (小于 0.007), ASP、ABO 探测率相近,且优于 ABS、OIF、最大熵 3 种方法;虚警率高于 0.007 后,在相同虚警率下本文方法 (ABO) 有更好的目标探测率。可以得出,本文方法明显优于其他 4 种方法,在异常探测中具有很好的探测效果。

**结束语** 本文依据波段选择的基本准则,充分利用子空间划分、基于矩阵模式的高光谱波段选择方法 (BSMM)、波段指数 (OIF) 三者的优点,并将三者分步骤地结合起来,提出了一种新的波段选择方法 ABO。利用 AVIRIS 真实高光谱数据进行仿真实验,通过与以往波段选择方法的对比,得到本文

(下转第 168 页)



## 5 实验结果与比较

图 1(a)是经典 baboon 彩色图像,图 1(b)是将原图像由 RGB 模型转换到 LUV 模型后的图像。图 2(a)是根据文献[4]三通道分别利用纹理特征进行区域生长的结果,图 2(b)是根据文献[5]像素标准差统计信息进行区域生长的结果,图 2(c)是根据文献[6]利用欧氏距离进行区域生长的结果,图 2(d)是本文算法区域生长的结果,其中生长准则中点乘阈值和叉乘阈值通过类间最大方差决定。图 3 是图 2 对应的区域边缘。通过比较分析可知,较其他相似方法本文方法的类间方差更大,能够更完整地提取猩猩图像的鼻子区域和边界。



图 1

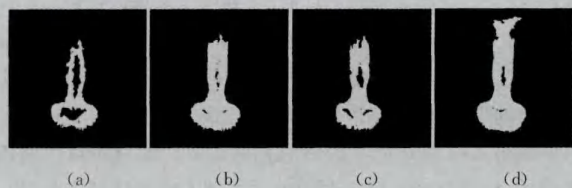


图 2

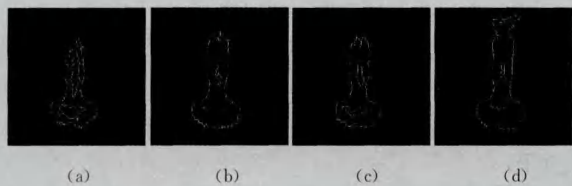


图 3

(上接第 165 页)

方法在 RGB 合成与 HSV 变换以及 RX 异常检测中具有很好的效果,具有明显优势。结果表明本文方法所选波段具有信息量大、相关性好、可分性高的优点,对地物识别的研究工作有重要意义。

## 参考文献

- [1] 张海涛,梦翔羽. 利于目标识别的高光谱影像波段选择方法[J]. 计算机科学,2013,40(10):305-308
- [2] 谷延峰,张晔. 基于自动子空间划分的高光谱数据特征提取[J]. 遥感技术与应用,2008,18(6):384-387
- [3] 刘春红,赵春晖,张凌雁. 一种新的高光谱图像降维方法[J]. 中国图像图形学报,2005,10(2):218-222
- [4] 苏红军,盛业华,杜培军. 自动子空间划分在高光谱影像波段选择中的应用[J]. 地球信息科学,2007,9(4):123-127
- [5] 于绍慧,张玉均,赵南京,等. 基于矩阵模式的高光谱波段选择方法[J]. 光电工程,2012,39(6):72-75

**结束语** 本文根据四元数矢量积性质,提出一种新的彩色图像区域生长方法。通过多次实验,结果表明,该方法相比于其他类似区域生长算法,实现更快速,效果更理想。对于该方法的更高维度推广及其应用,我们将在另文中探讨。

## 参考文献

- [1] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社,2011
- [2] Shih F Y, Cheng Shou-xian. Automatic seeded region growing for color image segmentation[J]. Image and Vision Computing, 2005,23(3):877-886
- [3] 谭洪波,侯志强,刘荣. 基于人类视觉模型的区域生长图像分割[J]. 中国图形图像学报,2010,15(9):1352-1356
- [4] 刘战杰. 一种新的基于区域生长的彩色图像分割算法[D]. 南京:南京航空航天大学,2009
- [5] Kang Chung-Chia, Wang Wen-June, Kang Chung-Hao. Image segmentation with complicated background using seeded region growing[J]. International Journal of Electronics and Communications, 2012,66(2):767-771
- [6] Chen L F, Liu Y M, Liu Y. Color image segmentation by combining improved watershed and region growing[J]. Computer Engineering & Science, 2013,35(4):92-98
- [7] Ell T A. Hypercomplex spectral transformation [D]. University of Minnesota, 1992
- [8] Sangwine S J, Ell T A. The discrete Fourier transform of a colour image[J]. Image Processing II, 2000,32(21):430-431
- [9] 黄国恒. 基于八元数、Clifford 代数和二维维诺图的血管分割方法[D]. 广州:华南师范大学,2012
- [10] 高有. 基于 Clifford 代数的三维医学数据血管分割[D]. 广州:华南师范大学,2013
- [11] 武伟. 八元数分析和钱方法在数字图像处理中的应用研究[D]. 广州:华南师范大学,2014
- [12] 李兴民. 八元数分析[D]. 北京:北京大学,1998

- [6] 何元磊,刘代志,易世华. 一种新的高光谱图像波段选择方法[J]. 光电工程,2010,37(9):122-126
- [7] 赵春晖,陈万海,杨雷. 高光谱遥感图像最优波段选择方法的研究进展与分析[J]. 黑龙江大学自然科学学报,2007,24(5):593-601
- [8] 程艺喆,雷武虎,戴胜波. 基于色彩空间变换的目标检测算法研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2014,37(2):149-154
- [9] 刘雪松,葛亮,王斌,等. 基于最大信息量的高光谱遥感图像无监督波段选择方法[J]. 红外与毫米波学报,2012,31(2):166-170
- [10] Du Qian, Yang He. Similarity-based unsupervised band selection for hyperspectral image analysis [J]. IEEE Geosci. Remote Sens., 2008,5(4):564-568
- [11] Du Qian. Band selection and its impact on target detection and classification in hyperspectral image analysis[C]// 2003 IEEE Workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data. 2003:374-377