

文章编号:1007-2780(2014)04-0586-06

基于 MeanShift 算法的航空影像联合分割

许佳佳

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所
中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,吉林 长春 130033)

摘要:为了实现在包含部分变化信息的相同区域不同时相的高分辨率航空影像上获得准确一致的分割结果,提出了两时相高分辨率航空影像联合分割方法。首先,对两时相影像进行高斯平滑处理,减小地物的内部差异以避免过分割;然后将两时相影像进行波段组合,采用主成分分析法剔除冗余数据,取其第一主分量作为灰度分量;最后对原始影像进行纹理分析,获得两时相影像的纹理信息作为纹理分量并与灰度分量组合在一起进行 MeanShift 分割。实验对比结果表明,该方法能够有效利用数据,节省处理时间,获得了较好的分割结果。

关键词:联合分割;MeanShift;主成分分析;纹理分析

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0586

Joint segmentation using MeanShift algorithm for high resolution aerial images

XU Jia-jia

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to achieve exact and consistent segmentation result using two-phase high resolution aerial images of the same area which contain some changed information, a joint segmentation method is proposed. First, the two-phase images are manipulated using Guassian smooth filter to suppress the object's internal diversity and avoid over-segmentation. Then principal component analysis is carried out on the combined image contained all bands of two-phase images to eliminate the redundant information. And the first principal component will be as gray component. Finally, texture is extracted from two-phase origin images as texture component, and meanshift algorithm will be implemented on the image combined gray component with two-phase texture components. Experimental results indicate that the proposed method can use the image information effectively and save much processing time. It can obtain better segmentation result.

Key words: joint segmentation; MeanShift; principal component analysis; texture analysis

收稿日期:2014-03-12;修订日期:2014-03-13.

基金项目:吉林省重大科技攻关项目(No. 11ZDGG001);国家自然科学基金青年基金(No. 60902067)

1 引言

随着遥感技术的不断发展进步,如何快速高效的分析、利用遥感信息已成为一个重要研究课题。其中,对影像进行分割是由遥感图像处理进入到遥感数据分析的关键步骤。目前,相关学者已提出了许多图像分割方法,它们往往是针对单帧图像进行操作的。而在当今的遥感应用中,越来越多地需要对同一地区不同时相的多帧影像进行联合分析(如变化检测等)。此时,若对每个时相的遥感影像进行单独分割,得到的对象边缘在不同时相的影像间是难以重合的,导致后续的对象比较分析步骤无法进行。为了获得准确一致的分割结果,简单的方法是将两时相影像叠加在一起,然后再进行分割处理。但这对高分辨率的航空影像处理是不合适的。首先,不同时相的航空影像虽然存在变化,但变化区域只是一小部分,两时相影像间存在很大的关联性,简单的数据叠加会产生大量的冗余信息,导致分割耗时长;其次,高分辨率航空影像中丰富的空间结构信息和纹理特征信息会导致分割结果杂乱无章,难以利用。因此,本文针对以上两个分割问题,提出了一种高分辨率航空影像联合分割方法。该方法以 MeanShift 分割算法为基础,采用主成分分析和纹理影像分析法剔除冗余数据,利用高斯平滑思想解决高分影像分割结果零散问题,取得了不错的联合分割效果。

2 MeanShift 算法

MeanShift 最初是在一篇关于概率密度梯度函数估计的文献^[1]中提出来的。直到 1995 年,另外一篇关于 MeanShift 的重要文献^[2]发表,在这篇文献中,Yizong Cheng 对基本的 Mean Shift 算法做了重要的推广,大大扩大了 Mean Shift 的适用范围。后来,Comaniciu 等人^[3-4]成功地将 Mean Shift 推广到特征空间分析的领域,在图像分割中得到了很好的应用。同时,Comaniciu 等还证明了在满足一定条件下,MeanShift 算法一定可以收敛到最近的一个概率密度函数的稳态点。MeanShift 算法,一般是指一个迭代的过程,即先算出当前点的漂移均值,移动该点到其偏移

均值,然后以此为新的起点,继续移动,直到满足一定的条件结束^[5]。

MeanShift 的扩展形式如式(1):

$$M_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{x_i - x}{h}\right) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{x_i - x}{h}\right) w(x_i)} - x, \quad (1)$$

其中: h 为一个常系数; $G(x)$ 是一个单位核函数; $w(x_i) \geq 0$ 是一个赋给采样点 x_i 的权重。

当 MeanShift 用于影像分割时,为了综合考虑空间信息与色彩信息,需要采用多元核函数 K_{h_s, h_r} 来估计 x 的分布, K_{h_s, h_r} 表示如式(2):

$$K_{h_s, h_r} = \frac{C}{h_s^2 h_r^2} k\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right), \quad (2)$$

其中: h_s, h_r 控制着平滑的解析度, C 是一个归一化常数。此时, MeanShift 的收敛点表示如式(3):

$$y_{i,j+1} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k g\left(\left\|\frac{y_{i,j}^s - x_k^s}{h_s}\right\|^2\right) g\left(\left\|\frac{y_{i,j}^r - x_k^r}{h_r}\right\|^2\right)}{\sum_{k=1}^n g\left(\left\|\frac{y_{i,j}^s - x_k^s}{h_s}\right\|^2\right) g\left(\left\|\frac{y_{i,j}^r - x_k^r}{h_r}\right\|^2\right)}. \quad (3)$$

3 联合分割

联合分割是要同时利用两时相遥感影像的信息,获得一致的对象边缘。通常不同时相的遥感影像会存在部分变化(如图 1 所示),因此联合分割的关键是对多个波段数据进行融合分析,利用尽可能少而全面的数据参与分割,提高处理效率;同时,还要考虑高分辨率影像的复杂特性,避免过分割或者分割不足。



(a) 第一时相影像
(a) First time image



(b) 第二时相影像
(b) Second time image

图1 不同时相的航空影像

Fig. 1 Multi-temporal aerial images

3.1 数据综合方式

综合分割首先要选择合适的数据综合方式,主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是一种经典的图像分析方法,其基本思想为:用线性变换从原有特征得到一组个数相同的新特征,对应的特征值依次递减,变换后的前几个特征就包含了原有特征的主要信息,成为主分量;这样可以达到既保留了原有特征的主要信息,又减小了特征个数,同时将噪声与信号分离开来,达到了去噪的效果^[6-7]。具体来讲,它通过特征分量的自相关矩阵的正交特征向量矩阵对原有特征进行重构,去除相关性,并且找到方差、能量最大的特征,具体算法参见文献[8]。对图 1 中两时相影像进行波段组合后进行主成分分析后的第一主分量如图 2 所示。

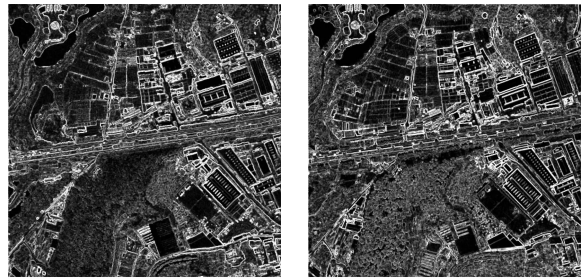


图 2 第一主分量
Fig. 2 First principal component

如果仅仅利用灰度信息进行分割,对于高分辨率影像来说就浪费了其丰富的纹理信息,因此,提取两时相的纹理影像加以利用将会得到有效的结果^[9-10]。本文采用 LBP/C (Local Binary Pattern and Contrast) 纹理分析方法提取纹理影像。LBP/C 是 Ojala 于 1996 年提出的一种统计分析纹理描述方法,对纹理特征具有很强的区分性,并且计算较为简单,具体步骤参见文献[11-12]。对图 1 中两时相影像分别提取的纹理图像如图 3 所示。

本文基于主分量分析及纹理分析法设计了如下数据综合方式:叠加两时相影像所有波段,然后对组合后的多波段影像进行 PCA 变换,取第一主分量;最后分别提取两时相影像的纹理影像,与第

一主分量进行组合,作为最后参与分割的数据(如图 4 所示)。



(a) 第一时相纹理影像 (b) 第二时相纹理影像
(a)First phase texture image (b)Second phase texture image

图 3 纹理影像
Fig. 3 Texture images



图 4 第一主分量与纹理影像组合结果
Fig. 4 Result combined the first component with texture images

3.2 平滑对分割结果的影响

由于航空影像通常具有较高的空间分辨率,虽然便于视觉观察,但却为图像处理带来了更大的难度。在高分辨率影像上,同一地物内部的微小差别将会表现得非常明显,地物的同质性大大降低,使得分割结果非常破碎。

从图像分割的角度来说,高分辨率影像上地物内部的突出细节可以认为是一种噪声,它不仅使对象间原本平滑的边界出现“毛刺”,也会降低对象的同质程度,影响分割结果^[13-14]。

高斯平滑是一类根据高斯函数的形状来选择权值得线性平滑滤波器,能够在去除噪声的同时保持边界曲线的基本形状^[15-16]。因此,在分割之前采用高斯滤波器对高分辨率影像进行平滑处理,可大大改善分割效果。

4 实验与分析

4.1 不同数据综合方式的分割实验

为了说明本文数据综合方式的有效性,在分割实验中设计了以下几种数据综合方式,其中第4种为本文提出的数据综合方式:

(1)两时相影像的全部波段进行组合,形成一个6波段的影像文件;

(2)从一个时相选择一个波段,另一个时相选择两个波段,然后组合;

(3)对组合后的6波段影像进行PCA变换,取其前3个分量;

(4)对组合后的6波段影像进行PCA变换,取第一主分量;分别提取两时相影像的纹理影像,与第一主分量进行组合。

对4种数据综合方式进行分割的结果如图5所示。

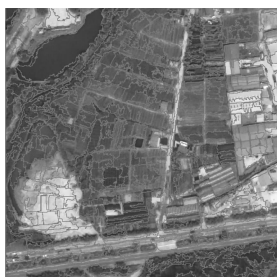
由图5可以看出,6波段的分割结果非常破碎,水域以及耕地等平坦的区域被分成了很小的部分,失去了对象的意义。从两时相影像中选择3个波段的分割结果同样比较破碎,而且由于缺少了另外3个波段的信息,分割结果偏向于其中一个时相,导致某些对象在另外一个时相上并不是一个同质区。3个主分量的分割结果相对于前两种综合分割的结果有了很大的提高,但是它对亮度变化过于敏感,比如在耕地等区域,颜色稍有不同,便会被划分成不同的对象,实际上它们的纹理是极其相似的;另外,水域与其周边的植被在亮度特征上基本是相似,此时的分割效果非常不好。采用本文提出的数据综合方法获得的分割结果中,对象相对于采用3个主分量的分割结果更加完整,比较接近于实际地物的形状,特别是在建筑物区有较大的改善;由于增加了纹理特征的约束,分割结果对亮度的变化不再过于敏感,并且在一定程度上改善了水域与其周边植被的分割效果;另外,通过比较还可以看出,对象边缘的准确性也比前3种分割结果的好。

另外,在实验中也统计了影像分割所需要的时间,6个波段所需的时间基本上是3个波段所需时间的2倍。因此,不论从分割效果的角度还是从分割效率上来讲,本文提出的数据综合方式都具有较大的优势。



(a) 第1种数据综合方式的分割结果

(a) Segmentation using the first joint type



(b) 第2种数据综合方式的分割结果

(b) Segmentation using the second joint type



(c) 第3种数据综合方式的分割结果

(c) Segmentation using the third joint type



(d) 第4种数据综合方式的分割结果

(d) Segmentation using the fourth joint type

图5 不同数据综合方式的分割结果,MeanShift分割参数均相同

Fig. 5 Segmentation using different joint type of image data with same parameter of MeanShift

4.2 高斯平滑分割实验

采用不同大小 σ 的高斯核函数对图1中第一时相影像进行高斯平滑,然后分割,结果如图6所示。

由图6可以看出,平滑对高分辨率影像的分割结果具有巨大的影响。未平滑影像的分割结果如(b),分割的对象非常破碎,同一个地物通常会被分割成若干个对象。(c)为小尺度平滑后的影像,其分割结果如(d),与(b)图相比,对象的完整性以及整体分割效果是显而易见的。随着平滑尺度的加大,分割所得对象的数目逐渐减少,对象的尺寸在逐渐增大。当平滑过度时,不仅会降低同一地物间的差异,也会大大减弱不同地物间的差异,此时分割结果将会过于粗犷,使得一个对象内包含两种或多种地物,如图(f)。另外,过度平滑会使影像的边缘变得非常模糊,使分割所得对象的边缘产生较大的偏移,而小尺度平滑后分割所得对象的边缘偏移较小,对分割结果几乎没有影

响。因此,总体来说,对影像进行合适的平滑是必要的,有利于改善分割的效果。

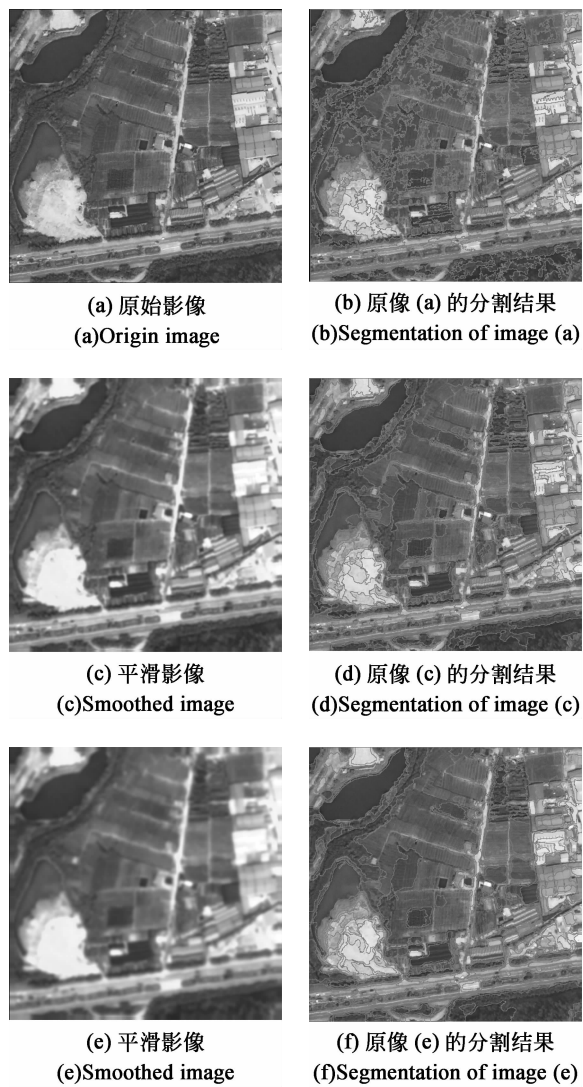


图 6 不同平滑尺度的影像分割结果,MeanShift 分割参数均相同

Fig. 6 Segmentation using different scale image with same parameter of MeanShift

在两时相影像的综合分割中,采用的是亮度影像与纹理影像组合的形式,前文的实验已经证明对亮度影像平滑将会很大程度上改善分割效果。接下来,实验分析了平滑纹理影像对分割结果的影响。图 7 显示了平滑纹理影像与未平滑纹理影像分别与第一主分量进行组合后的综合分割结果。需要注意的是,这里平滑后的纹理影像指

的是在平滑后的亮度影像上提取的纹理影像而不是直接对提取的纹理影像进行平滑。

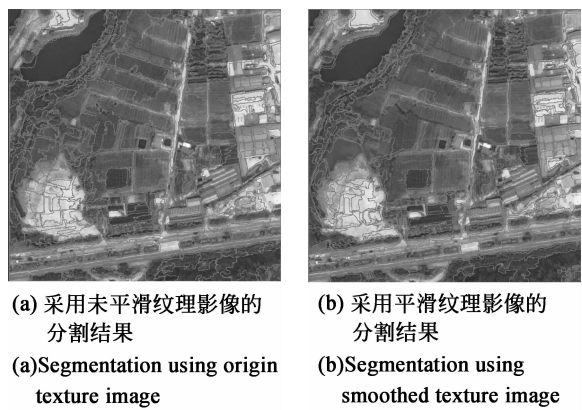


图 7 平滑纹理影像对分割结果的影响,MeanShift 分割参数均相同

Fig. 7 Segmentation using origin texture images and smoothed teture images with same parameter of MeanShift

由图 7 中两组分割结果的比较可以看出,是否采用平滑的纹理影像对分割结果也有很大的影响,采用平滑后纹理影像进行组合的分割结果显得分割不足,对象过大,同一个对象中出现了不同的地物。这可能是因为本文采用的波段组合方式中,纹理影像占了较大的比重,而影像平滑主要减弱了地物的细节特征,影响最大的就是纹理。因此,影像平滑后提取的纹理影像大大降低了地物之间的差异性,使得组合后影像中地物之间的差异也不够明显,导致分割不足。所以,采用未平滑的纹理影像进行组合更加合理。

5 结 论

基于 MeanShift 分割算法,提出了一种多时相高分辨率航空影像联合分割方法。该方法包括若干种数据综合方式,通过实验比较证明:对滤波后影像进行波段组合,然后进行主成分分析,提取第一主分量作为灰度分量;再分别对两时相影像进行纹理分析,提取两时相纹理影像与灰度分量进行组合这种数据综合方式能够取得较好的分割效果。

参 考 文 献:

[1] Fukunaga K,Hostetler L. The estimation of the gradient of a density function,with applications in pattern recogni-

- tion[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*,1975,21(1):32-40.
- [2] Yizong C. Mean shift,mode seeking,and clustering [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,1995,17 (8):790-799.
- [3] Comaniciu D,Meer P. Mean shift;a robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,2002,24 (5):603-619.
- [4] Comaniciu D,Ramesh V,Meer P. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*,2000:142-149.
- [5] 张宇洋,刘满华,韩韬. 基于 Mean Shift 图像分割和支持向量机判决的候梯人数视觉检测系统[J]. *光学 精密工程*,2013,21(4):1079-1085.
- Zhang Y Y,Liu M H,Han T. Elevator-waiting people counting system based on mean shift segmentation and SVM classification [J]. *Opt. Precision Eng.*,2013,21 (4):1079-1085. (in Chinese)
- [6] Ran H,Bao-Gang H,Wei-Shi Z,*et al.* Robust principal component analysis based on maximum correntropy criterion [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*,2011,20 (6):1485-1494.
- [7] 李海森,张艳宁,姚睿,等. 基于主成分分析的直线运动模糊参数估计[J]. *光学 精密工程*,2013,21(10):2656-2663.
- Li H S,Zhang Y N,Yao R,*et al.* Parameter estimation of linear motion blur based on principal component analysis [J]. *Opt. Precision Eng.*,2013,21(10):2656-2663. (in Chinese)
- [8] 魏旭. 基于主成分分析的特征融合及其应用[D]. 成都:电子科技大学,2008.
- Wei X. Research on methods and applications of image feature fusion based on PCA [D]. Chengdu:University of Electronic Science and Technology of China,2008. (in Chinese)
- [9] 韩延祥,张志胜,郝飞,等. 灰度序列图像中基于纹理特征的移动阴影检测[J]. *光学 精密工程*,2013,21(11):2931-2942.
- Han Y X,Zhang Z S,Hao F,*et al.* Shadow detection based on texture features in gray sequence images [J]. *Opt. Precision Eng.*,2013,21(11):2931-2942. (in Chinese)
- [10] 张来刚,魏仲慧,何昕,等. 面向低纹理图像的快速立体匹配[J]. *液晶与显示*,2013,28(3):450-458.
- Zhang L G,Wei Z H,He X,*et al.* New stereo matching method based edge extration[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*,2013,28(3):450-458. (in Chinese)
- [11] Ojala T,Pietikainen M,Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions[J]. *Pattern Recognition*,1996,29 (1):51-59.
- [12] Hu X Y,Tao C V,Prenzel B. Automatic segmentation of high-resolution satellite imagery by integrating texture, intensity,and color features[J]. *Photogramm Eng. Rem. S*,2005,71(12):1399-1406.
- [13] 吴笑天,鲁剑锋,贺柏根,等. 雾天降质图像的快速复原[J]. *中国光学*,2013,6 (6):892-899.
- Wu X T,Lu J F,He B G,*et al.* Fast restoration of haze-degraded image [J]. *Chinese Optics*,2013,6(6):892-899. (in Chinese)
- [14] 朱明,杨航,贺柏根,等. 联合梯度预测与导引滤波的图像运动模糊复原[J]. *中国光学*,2013,6(6):850-855.
- Zhu M,Yang H,He B G,*et al.* Image motion blurring restoration of joint gradient prediction and guided filter[J]. *Chinese Optics*,2013,6(6):850-855. (in Chinese)
- [15] 闫辉,许廷发,吴青青,等. 多特征融合匹配的多目标跟踪[J]. *中国光学*,2013,6 (2):163-170.
- Yan H,Xu T F,Wu Q Q,*et al.* Multi-object tracking based on multi-feature joint matching [J]. *Chinese Optics*,2013,6(2):163-170. (in Chinese)
- [16] 龚俊亮,何昕,魏仲慧,等. 基于贝叶斯估计的剪切波域局部自适应图像去噪[J]. *液晶与显示*,2013,28 (5):799-804.
- Gong J L,He X,Wei Z H,*et al.* Local adaptive image denoising based on bayesian estimation in shearlet domain [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*,2013,28(5):799-804. (in Chinese)