

# 面向地震灾区高分辨遥感影像 信息提取方法\*

付 萧<sup>1</sup>, 鲁 恒<sup>2,3,4\*</sup>, 朱 庆<sup>1</sup>, 李乃稳<sup>2,3</sup>, 庄文化<sup>2,3</sup>, 何 敬<sup>4</sup>

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 611756; 2. 四川大学 水力学与山区河流开发  
保护国家重点实验室, 四川 成都 610065; 3. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065;  
4. 成都理工大学 国土资源部地学空间信息技术重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:** 针对当前地震后震区时空数据难以及时获取的问题, 采用了一种改进均值漂移 (Mean Shift) 信息提取方法。首先, 将原始影像划分为纹理区和均色区。均色区域直接利用 Mean Shift 算法获得; 纹理区域则利用归一化分布密度值获取合适的带宽, 再使用 Mean Shift 算法进行信息提取。通过构造代价函数判别相邻区域是否需要合并, 以消除过分割区域。最后, 提出了一种信息提取匹配指数对信息提取结果进行评价, 并将该方法应用于汶川和芦山地震后获取的无人机高空间分辨率影像, 进行信息提取实验。实验结果表明: 所提出的改进 Mean Shift 算法提取精度优于传统 Mean Shift 算法, 为后续的地震灾情评估提供了基础数据。

**关键词:** 地震灾区; 均值漂移; 信息提取; 高分辨率影像

**中图分类号:** P315-39

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)03-0494-06

## 0 引言

我国是一个自然灾害频发且种类繁多的国家, 如何有效监测灾情、及时有效地处理综合信息并做出科学可行的救灾应急措施, 这些都将作为政府日常管理的重要组成部分。对高分辨遥感影像处理的研究, 需要把传统的灾害监测和防灾减灾技术与其他科技手段、特别是高新科技结合起来, 综合应用遥感、测绘、地理和空间信息技术等多学科技术手段, 为早日实现空、地、人的立体监测网和综合信息处理系统做准备 (李德仁等, 2012)。针对高分辨率遥感影像的信息提取算法研究已成为当前遥感应用研究领域的一个重要课题。

2013年4月20日四川省雅安市芦山县 (30.3°N, 102.95°E) 发生7.0级地震, 震源深度13 km。震后灾区路断、桥断、通信中断, 重灾区陷入信息隔绝状态, 这是继2008年5月12日汶川大地震后四川省内发生的又一大地震。在地震灾区通信、交通被严重破坏的情况下, 卫星遥感和

无人机遥感技术成为快速获取灾情的最佳途径。在汶川地震、芦山地震这样的巨大自然灾害面前, 如何快速有效地处理影像数据并提取震害信息, 使其在灾后应急及灾情评估与灾后重建中发挥其应有的作用是对遥感技术应用提出的挑战, 也是值得深入研究的问题。

随着计算机技术的发展, Mean Shift 算法的应用越来越广泛, 在空间目标聚类、动态目标跟踪、视觉图像处理等领域均取得了良好的效果 (周芳芳等, 2007)。由于高空间分辨率无人机影像具有光谱信息较弱、纹理信息丰富等特点, 所以直接将 Mean Shift 算法应用于高空间分辨率遥感影像信息提取中很难得到预期的结果 (鲁恒等, 2015)。基于上述原因, 本文提出了一种改进 Mean Shift 算法进行信息提取, 以期能在地震发生后快速获取震后第一手空间数据。

## 1 Mean Shift 算法

当前大多数聚类算法普遍需要先验知识, 但

\* 收稿日期: 2014-11-21.

**基金项目:** 数字制图与国土信息应用工程国家测绘地理信息局重点实验室开放基金 (DM2014SC02)、国土资源部地学空间信息技术重点实验室开放基金 (KLGSIT2015-04) 及德阳市重点科技支撑计划项目 (2013ZZ074-05) 联合资助。

✉ 通讯作者: 鲁恒 (1984-), 男, 四川眉山人, 博士, 主要从事“3S”技术及其应用研究, E-mail: luheng@scu.edu.cn.

Mean Shift 算法不需要先验条件,初始点可以选择数据集任意点。该算法在执行过程中,类别根据收敛点确定,面向各种采样点的分布和维度都能实现聚类。Mean shift 算法是一个基于密度函数的梯度估计和模式搜索的迭代过程,从数据集合的某个点出发,通过计算均值向量,不断逼近数据集合分布的局部极值点。Fukunaga 和 Hostetler (1996) 最早把 Mean Shift 算法引入到模式识别领域,Cheng (1995) 改进了算法中的核函数,扩大了该算法的适用范围。Comaniciu 和 Meer (1999, 2002) 将该方法应用于图像特征空间的分析,证明了 Mean Shift 算法在满足一定条件下,可收敛到最近的一个概率密度函数的稳态点。密度函数梯度估计等于密度函数估计的梯度,即

$$\Delta f(x) = \sum_{i=1}^n 2c_k w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} k'(\|x - x_i\|_{H_i}^2) H_i^{-1}(x - x_i) \\ = 2c_k (\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(\|x - x_i\|_{H_i}^2) (m_{H_i}(x) - x)). \quad (1)$$

其中,  $g(x) = -k'(x)$ ,  $G(x) = C_g g(\|x\|^2)$ , 核函数  $G(x)$  称为  $K(x)$  的阴影函数。Mean Shift 向量记为  $M_{H_i}(x) = m_{H_i}(x) - x$ 。Mean Shift 迭代公式为

$$m_{H_i}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(\|x - x_i\|_{H_i}^2) x_i}{\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(\|x - x_i\|_{H_i}^2)}. \quad (2)$$

## 2 改进的 Mean Shift 信息提取方法

通过分析传统 Mean Shift 算法的应用特点,笔者提出了改进的 Mean Shift 信息提取方法。该改进方法采用方差检测的方法分析了色彩空间,按照影像特征划分为匀色区域和纹理区域。对于匀色区域,直接进行 Mean Shift 算法得到提取结果;对于纹理区域,根据归一化分布密度值获取合适的带宽,使用 Mean Shift 算法对特征空间进行模式分类。通过构造代价函数判别相邻区域是否需要合并,以消除过分割区域。

### 2.1 影像滤波

遥感影像主要包括两种噪音,即非高斯噪声和高斯噪声(李峰,彭嘉雄,2003;肖鹏峰等,2007),这可能导致影像信息提取出现错误。因此,在进行影像信息提取前需利用滤波技术进行过滤,笔者采用自适应平滑滤波。通过求解像元周围  $3 \times 3$  矩形窗内 8 邻域像元 3 个色彩通道的方

差和均值,相对于各个色彩通道,在像元减去均值绝对值大于 1.2 倍方差时,就认为该像元为噪声点。同时,在像元 8 邻域内像元值均采用均值代替。再通过色彩空间变化的方法处理滤波影像,并且采用  $(L, U, V)$  模型表示色度值、亮度值。

### 2.2 影像区域分类

相同性质遥感影像区域表现平滑、灰度与色彩之间保持良好的一致性。因此,根据一致性就能将遥感影像划分成纹理区域和匀色区域。同时,还可通过简单分类处理方法,即中心直接采用  $x_0$  点,在宽度  $W$  的矩形窗口范围,通过  $x_0$  点色彩特征矢量  $(L, U, V)$  分布密度判断邻域色彩一致性,其中,所采用的计算公式为

$$\sigma_{x_0} = k \sum_w g\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right). \quad (3)$$

核函数采用多元正态分布形式:

$$g(x) = (2\pi)^{-d/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \|x\|^2\right). \quad (4)$$

由式(4)可以看出,  $x_0$  处平滑程度  $\sigma_{x_0}$  数值成正比。在进行求解像元  $\sigma_{x_i}$  值时,采用归一化处理得到  $\sigma_{x_i}'$ 。当  $\sigma_{x_i}'$  趋于 1 时就说明平滑程度越高。同时,进行归纳所有  $\sigma_{x_i}'$ , 取定阈值  $T=0.9$ , 将原影像转换为二值影像:当  $\sigma_{x_i}' < T$ , 像元值为 0, 代表匀色区域;当  $\sigma_{x_i}' > T$ , 像元值为 1, 说明该区域为纹理区域。

### 2.3 带宽可变的 Mean Shift 聚类

一般通过 Mean Shift 算法完成区域提取,匀色区域通常情况下倾向于使用较大带宽参数,能够进行连续和完整的提取。直接利用固定带宽为 10 的 Mean Shift 方法提取匀色区域。在提取变化剧烈区域时,根据地貌特征应选择较小的 Mean Shift 带宽,保证分析特征中充分考虑丰富的纹理信息。所求  $\sigma_{x_i}'$  建立可变带宽的函数为

$$h = h_0 \frac{1}{\sqrt{\sigma_{x_i}'}}. \quad (5)$$

其中,  $h_0$  为基准 Mean Shift 带宽。经实验研究  $h_0 = 12$ 。

### 2.4 区域合并

为了防止纹理区域出现的过分割问题,笔者采用区域合并方法解决该问题。首先构造代价函数,通过合并相邻区域,产生新区域,改变前后两者的变化程度通过特征向量来反映。若假设相

邻区域  $r_i$  和  $r_j$ , 合并后为  $r_{ij}$ , 特征分量变化可采用以下计算公式:

$$\Delta_{ij} = n_{ij}c_{ij} - (n_i c_i + n_j c_j). \quad (6)$$

式中,  $n_{ij} = n_i + n_j$  表示合并区域  $r_{ij}$  包含的像元数。在经过加权平均方式计算出 9 维的向量空间 ( $L, u, v, \mu, \sigma, Sk, Ku, s, c$ ) 下的合并代价, 具体计算公式为

$$C(r_i, r_j) = \sum_{f=1}^9 k_f \Delta_{ij}. \quad (7)$$

其中,  $k_f$  为各维向量的加权系数, 且  $\sum_{k=1}^9 k_f = 1$ 。

然后进行邻接图合并, 区域邻接图合并需要根据所有邻接图进行寻优, 确定最佳的合并区域, 保证合并代价最小。对于相邻区域  $r_i$  和  $r_j$  满足

$$r_j = \operatorname{argmin} C(r_i, r_k), \quad r_k \in \{R, e_{im} \in E\}. \quad (8)$$

从式 (8) 可以看出,  $r_j$  是  $r_i$  合并代价最小的邻接区域, 反过来  $r_i$  也满足, 即  $r_i$  和  $r_j$  分别是对方邻接区域中合并代价最小的, 则  $r_i$  和  $r_j$  是满足局部最优合并条件的区域对。

### 3 实验及结果分析

为验证笔者所提方法, 在 Matlab 平台下编程实现基于改进的 Mean Shift 算法及传统的 Mean Shift 信息提取算法, 将两种方法分别应用于所获取的芦山地震及汶川地震后震区无人机影像, 通过两组实验来验证算法的有效性。所获取的芦山和汶川地震后原始无人机影像如图 1 所示。

传统 Mean Shift 提取算法使用带宽为 0.4 时的提取结果如图 2a、c 所示, 使用改进 Mean Shift 提

取算法的结果如图 2b、d 所示。对比图 2a、b 可发现, 本文所提算法较之传统 Mean Shift 算法在影像中间建筑物聚集区提取边界更精细、准确, 图中左上角的林地提取更为准确。对比图 2c、d 可发现, 本文所提算法道路提取更为精细完整, 建筑用地提取更加清晰、完整, 碎片较少。总体来看, 改进算法的提取结果与遥感影像中的实际地物有很好的对应关系。

为了定量验证方法信息提取的精度, 需要建立评价指标。Neubert 和 Herold (2008) 通过提取对象与实际地物的面积匹配度来判断分割尺度是否合理; 于欢等 (2010) 通过计算分割对象边界与实际地物边界横向和纵向矢量距离来评判提取结果的好坏。上述匹配模型均忽略了分割对象与实际地物间的光谱匹配情况。笔者通过光谱和面积匹配情况进行综合考虑, 建立了一种顾及面积和光谱的信息提取匹配指数  $EMI$ :

$$EMI = |H_{li} - H_{ri}| \cdot \left| \frac{A_{li} - A_{ri}}{A_{ri}} \right|. \quad (9)$$

式中,  $A_{li}$  代表最大提取对象的面积, 对于实际地物  $A$ , 提取出的对象  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  都占有实际地物  $A$  的部分像元, 但  $A_1$  所切割  $A$  的面积最大, 因此  $A_1$  为最大提取对象,  $A_{ri}$  表示作为参考的实际地物的面积,  $H_{li}$  为最大提取对象的灰度均值,  $H_{ri}$  为作为参考的实际地物的灰度均值。以图 2a、b 提取出的建筑物为例说明计算方法, 通过目视解译, 随机在无人机影像选择 150 个实际地物数据作为样本参考数据, 参考地物选择边界明显的建设用地、耕地、道路, 如图 3 所示。

在获得参与评价对象的信息中, 计算出所有



图 1 芦山 (a)、汶川 (b) 地震后震区原始无人机影像

Fig. 1 Original UAV images in epicentre area after Lushan (a) and Wenchuan (b) earthquakes

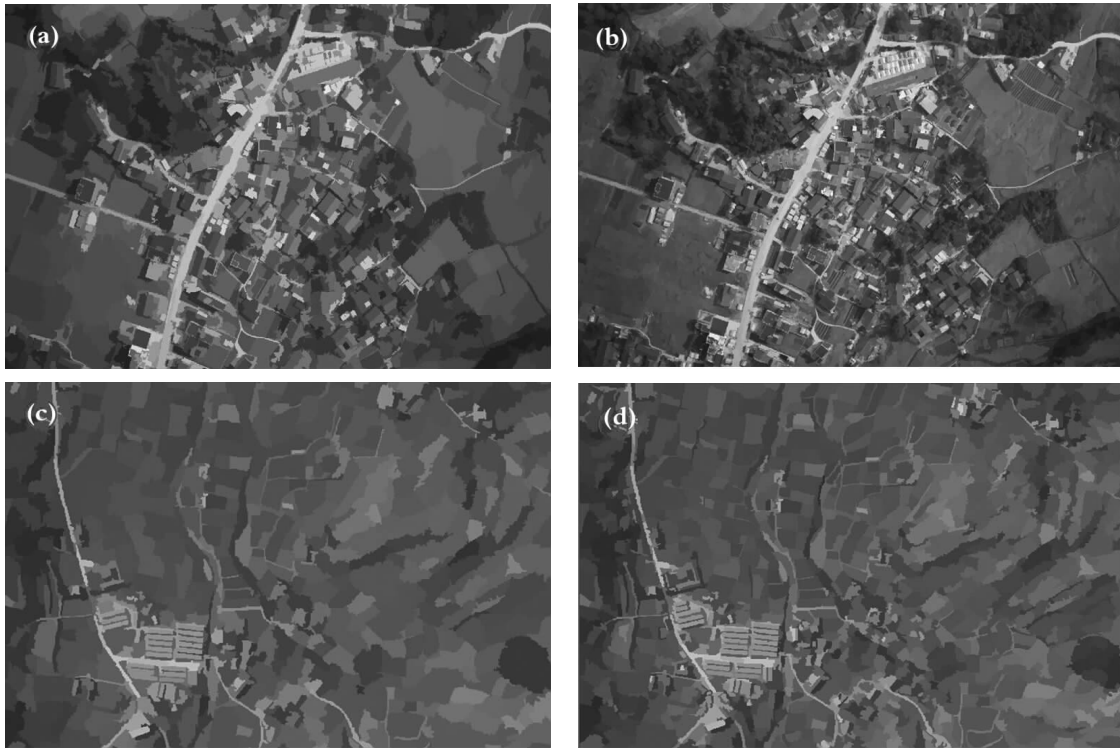


图2 无人机影像信息提取算法结果对比

芦山地震后无人机影像传统 (a) 和改进 (b) Mean Shift 提取结果

汶川地震后无人机影像传统 (c) 和改进 (d) Mean Shift 提取结果

Fig. 2 Comparison of UAV images information extraction results

UAV images information extraction results based on the conventional (a) and the improved

(b) Mean Shift Algorithm after Lushan earthquake; UAV images information

extraction results based on the conventional (c) and the improved (d)

Mean Shift Algorithm after Wenchuan earthquake

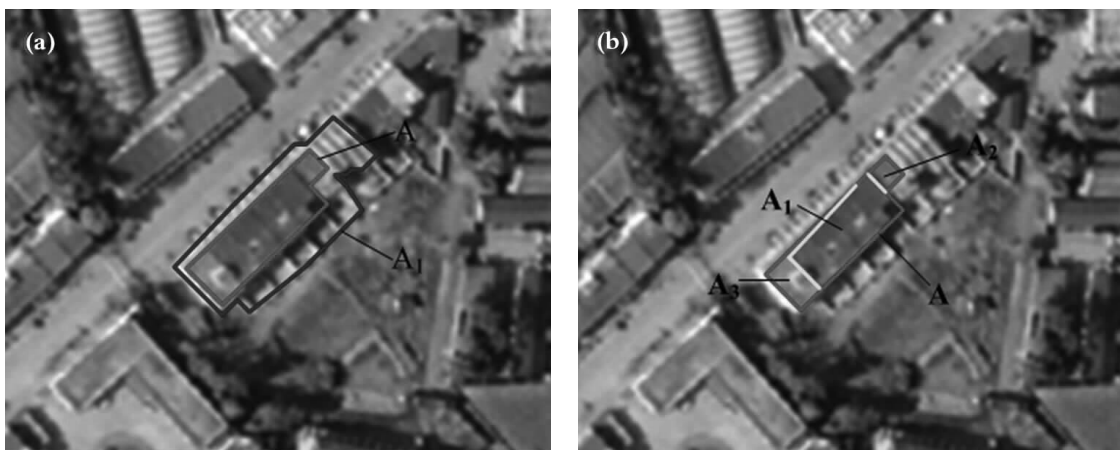


图3 实际地物与提取对象关系

(a) 传统 Mean Shift 算法结果; (b) 改进 Mean Shift 算法结果

Fig. 3 Relationship between the actual features and extraction objects

(a) results of the conventional Mean Shift algorithm; (b) results of the improved Mean Shift algorithm

均方根误差，具体为

$$M_{EMI} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EMI)^2}{n}}.$$

(10)

当提取对象越接近于实际地物时，获得的  $M_{EMI}$  值就越小，对应的提取算法越可靠。计算结果如表 1 所示。

表 1 各算法计算出的  $M_{EMI}$  值

Tab. 1  $M_{EMI}$  value calculated by use of two kinds of algorithm

实验影像	传统 Mean Shift 算法	本文改进 Mean Shift 算法
芦山震后影像	3. 184 9	2. 857 5
汶川震后影像	4. 174 6	3. 736 1

从表 1 可知，针对芦山、汶川两期震后无人机影像信息提取结果计算出来的  $M_{EMI}$  值，本文所提算法均小于传统 Mean Shift 算法，验证了本文所提算法的可靠性。

4 结论

本文从高分辨率遥感影像自身特点出发，对传统 Mean Shift 算法进行改进，取得了较为满意的信息提取结果。由于地震后获取的高分辨遥感影像纹理信息丰富，在使用传统 Mean Shift 算法进行信息提取时容易产生过分割和欠分割现象。改进的分割算法将影像划分为匀色区域和纹理区域，对不同性质的区域使用带宽可变的 Mean Shift 分割，改善了信息提取结果，保证震后无人机遥感

影像分割的准确性，为灾情评估提供了基本的数据源。

参考文献：

李德仁, 眭海刚, 单杰. 2012. 论地理国情监测的技术支撑[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 37(5):505-512.

李峰, 彭嘉雄. 2003. 基于 Wold 特征的遥感图像的分割[J]. 测绘学报, 32(4): 330-333.

鲁恒, 李龙国, 贺一楠. 2015. 考虑地形特征的无人机影像分区域加权平差拼接方法[J]. 农业机械学报, 46(9):296-301.

肖鹏峰, 冯学智, 赵书河等. 2007. 基于相位一致的高分辨率遥感图像分割方法[J]. 测绘学报, 36(2):146-151.

于欢, 张树清, 孔博等. 2010. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究[J]. 中国图象图形学报, 15(2):352-360.

周芳芳, 樊晓平, 叶榛. 2007. 均值漂移算法的研究与应用[J]. 控制与决策, 22(8):841-847.

Cheng Y. 1995. Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering [J]. IEEE Trans on Pattern Anal Machine Intell, 17(8): 790.

Comaniciu D, Meer P. 1999. Distribution free decomposition of multivariate data[J]. Pattern Analysis and Applications, 2(1): 22-30.

Comaniciu D, Meer P. 2002. Mean Shift: A robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intel, 24(5): 603-619.

Fukunaga K, Hostetler L. 1996. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition [J]. IEEE Transaction, 18(9):884-900.

Neubert M, Herold H. 2008. Assessment of Remote Sensing Image Segmentation Quality [C]//International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission IV. Calgary, Canada; Working Group IV/3.

## Method of Information Extraction from High Spatial Resolution Remote Sensing Image in Earthquake-stricken Area

FU Xiao<sup>1</sup>, LU Heng<sup>2,3,4</sup>, ZHU Qing<sup>1</sup>, LI Naiwen<sup>2,3</sup>, ZHUANG Wenhua<sup>2,3</sup>, HE Jing<sup>4</sup>

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, Sichuan, China)

(2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

(3. College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

(4. Key Laboratory of Geo-special Information Technology, Ministry of Land and Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

### Abstract

In order to solve the problem that the spatial – temporal data is difficult to be obtained in earthquake-stricken area after the earthquake, we proposed an improved Mean Shift algorithm for information extraction. Firstly, the image was divided into texture areas and homogeneous color areas through different characteristic of variance detection on the color space. Preliminary partition on the homogeneous color area was directly achieved by Mean Shift algorithm. Meanwhile, for the texture area, a high-dimensional feature space was set up by extracting the shape, texture and color information, and the proper bandwidth was calculated according to the normalized distribution density, then the Mean Shift algorithm was applied on the feature space for model classification to reach the partition. Secondly, a cost function was set up to realize whether the adjacent area needed to be merged to smooth over the partitioned area. Finally, an information extraction matching index (EMI) which considering the area and spectrum was proposed to evaluate the extraction results. The test results for high spatial resolution remote sensing image information extraction on UAV images were conducted in Lushan and Wenchuan earthquake-stricken areas. The experimental results show that the improved Mean Shift algorithm performs better than the original ones, and provides data protection for damage information extraction of subsequent earthquake.

**Key words:** earthquake-stricken area; mean shift; information extraction; high spatial resolution remote sensing image