

文章编号: 2095-4980(2018)03-0494-07

基于多尺度信息融合的 SAR 图像建筑物提取

张雄美, 易昭湘, 蔡幸福, 高 晶

(火箭军工程大学, 陕西 西安 710025)

摘 要: 根据高分辨力合成孔径雷达(SAR)图像中建筑物的特性, 提出了一种基于多尺度信息融合的建筑物提取方法。以非下采样轮廓波变换(NSCT)为多尺度分析框架, 通过融合基于 NSCT 低频子带的多尺度区域分析结果提取潜在建筑物区域; 同时, 融合基于 NSCT 高频信息的边缘检测结果与均值比算子结果提取边缘结构信息; 在此基础上, 结合区域与边缘结构信息对虚警进行滤除, 对漏检建筑物进行补充, 完成建筑物提取。实验结果显示: 该方法优于基于多特征融合的建筑物检测算法, 在实验所用图像上的平均查全率达到 94%, 表明文中方法的有效性。

关键词: 合成孔径雷达; 非下采样轮廓波变换; 多尺度分析; 建筑物提取; 信息融合

中图分类号: TN957.52⁺4; TP751 **文献标志码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA201803.0494

Extracting buildings from SAR image based on multi-scale information fusion

ZHANG Xiongmei, YI Zhaoxiang, CAI Xingfu, GAO Jing

(Rocket Force University of Engineering, Xi'an Shaanxi 710025, China)

Abstract: Considering the feature of buildings in high resolution Synthetic Aperture Radar(SAR) images, an algorithm for extracting buildings from SAR image based on multi-scale information fusion is proposed. Taking the Non-Subsampled Contourlet Transform(NSCT) as multi-scale analysis framework, a multi-scale fusion segmentation method is proposed to extract the potential building regions. An edge detection method based on multi-scale data fusion is designed to extract the edge information. The results of multi-scale fusion segmentation and edge detection are combined to filter the false alarm and add the missing buildings. Experimental results show that the proposed method achieves better performance than the building detection algorithm based on feature fusion, and the average recall ratio reached 94% in the experimental images. These results prove the efficiency of the proposed approach.

Keywords: Synthetic Aperture Radar(SAR); Non-Subsampled Contourlet Transform(NSCT); multi-scale analysis; building extraction; information fusion

建筑物是城市和郊区的主要人造目标, 利用遥感图像从错综复杂的地物环境中提取建筑物, 在城市规划、灾情评估、军事侦察等方面具有重大意义^[1]。合成孔径雷达(SAR)作为遥感对地观测的一种重要方式^[2], 是提取建筑物区域的常用手段之一。近年来, 随着 SAR 图像分辨力的大幅提高, 建筑物的几何结构特征得以体现, 基于单幅高分辨力 SAR 图像进行建筑物提取成为研究热点。国内外学者已经围绕单幅 SAR 图像的建筑物提取开展了一系列研究。Simonetto 等^[3]利用特征匹配从 SAR 图像提取了 L 型建筑物, 获取了建筑物的长、宽等信息; 徐旭等^[4]利用模糊 C 均值、最小二乘准则等技术实现了 L 型建筑物的提取并获取了建筑物的长度、宽度和方位角等信息。上述方法仅能提取 L 型建筑物, 并且只考虑亮线而忽略其他的相关特征, 适用范围有限。苏娟等^[5]通过多种特征的联合使用实现了建筑物的检测, 但该方法仅适用于具有高亮直线和阴影的建筑物, 当建筑物边缘不明显或不存在阴影区域时, 该方法无法检测出建筑物。

基于上述分析, 根据高分辨力 SAR 图像中建筑物的特性, 以非下采样轮廓波变换(NSCT)为多尺度分析框架, 提出了一种采用 NSCT 多尺度信息融合的 SAR 图像建筑物提取方法。该方法利用基于 NSCT 低频信息的多尺度融合区域分析提取潜在建筑物区域, 融合基于 NSCT 高频信息的边缘检测结果与均值比(Ratio of Average,

收稿日期: 2016-11-30; 修回日期: 2017-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61640007; 61132008)

RoA)算子结果提取边缘结构信息,在此基础上,结合区域与边缘信息滤除虚警和补充漏检。由于考虑了建筑物固有的多尺度特性,且充分利用了 NSCT 多尺度分析方法的优点,该方法能实现建筑物的准确提取。

1 理论模型与算法实现

作为一种“真正”的图像二维表示方法,NSCT 不仅具备多尺度、多分辨力和时频局部化特性,还具备良好的方向性、各向异性和平移不变性,有利于图像融合、边缘检测及目标提取等应用^[6-7]。

目标在不同尺度上的表现是不同的,通过综合多尺度的信息才能反映目标的本质特征。对于 SAR 图像中的建筑物,其最显著的特点就是呈现高亮度且具有一定的面积,因而可利用 NSCT 的多尺度特性,融合多尺度低频子带信息提取潜在建筑物区域;同时,建筑物与周围背景的高对比度使得建筑物的边界明显,因而可利用 NSCT 捕获包括弱边缘在内的几何结构信息的优良特性,在多尺度方向子带中提取建筑物的边缘信息。此外,图像经 NSCT 分解后各像素的空间位置未发生变化,很容易找到各尺度、各方向子带中建筑物及边缘的对应关系。因此,NSCT 提供了一个非常有利于建筑物提取的多尺度分析框架。

基于上述分析,以 NSCT 为多尺度分析框架,本文提出了一种基于 NSCT 多尺度信息融合的 SAR 图像建筑物提取方法,具体流程如图 1 所示。

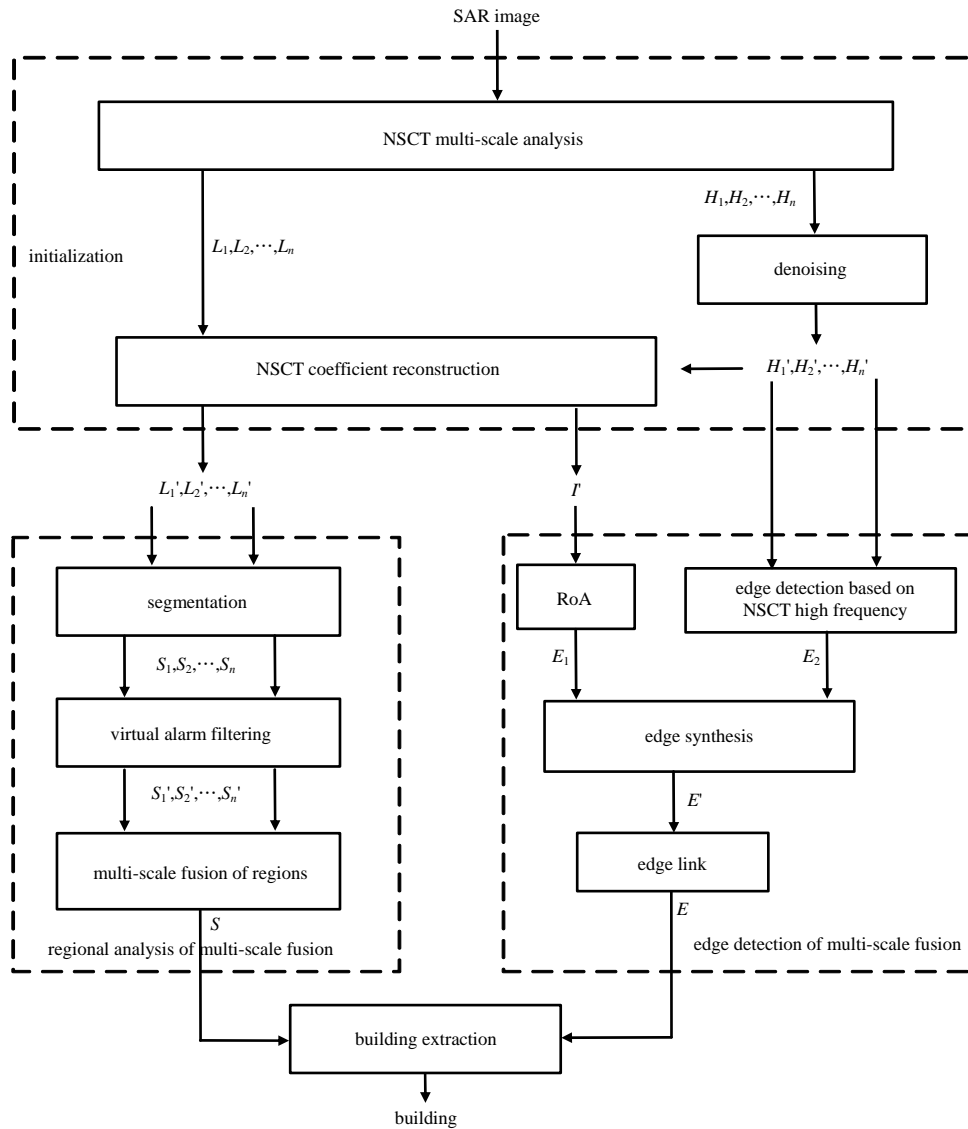


Fig.1 Flowchart of proposed algorithm
图 1 算法的总体框图

1.1 初始化

初始化的目的是为区域分割与边缘检测做好数据准备工作。受成像机制的影响，SAR 图像中不可避免地存在斑点噪声，在进行区域分割与边缘检测前有必要对噪声进行滤除。在 NSCT 分解过程中，噪声与边缘、纹理等细节信息一起被捕获到高频子带中，因此可在高频子带中对噪声进行滤除。本文采用文献[6]中方法在高频子带中对噪声系数进行抑制，对弱边缘系数进行增强，然后将处理后的高频子带与低频子带进行 NSCT 系数重构(如图 2 所示)，得到一组新的低频子带 $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_n\}$ 及增强图像 I' 。

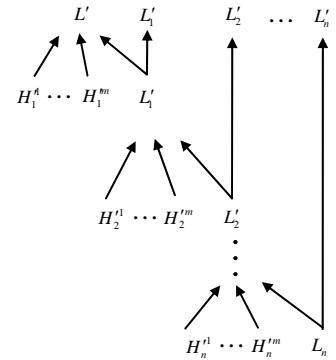


Fig.2 NSCT coefficients reconstruction
图 2 NSCT 系数重构

1.2 多尺度融合区域分析

NSCT 能从粗到细地对目标进行描述，可综合利用不同尺度的目标信息，把粗尺度的易分割性与细尺度的精确性这对矛盾统一起来。因此，本文先利用均值漂移(Mean Shift, MS)算法^[8]对各尺度低频子带进行分割，然后将各尺度分割结果融合起来，提取潜在建筑物区域。

分割后的图像中包含两类目标：真实的建筑物和呈强散射特性的非建筑物地物(即虚警)。建筑物与虚警的主要区别在于建筑物具有一定的面积且形状较为规则。基于此，设定如下准则进行虚警滤除：对于每一连通区域 s ，若满足下列条件之一，认定为虚警。

$$A(s) \leq th_{a1} B_{area}, \quad D(s) \geq th_{a2} \tag{1}$$

式中： $A(s)$ 为区域 s 的面积； B_{area} 为已确认的最大建筑物的面积； $D(s)$ 为区域 s 的离散度^[9]，反映了区域 s 的规则性，具体定义如下：

$$D(s) = \frac{\max\left(\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}\right)}{\min\left(\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}\right)} \tag{2}$$

式中： (x_i, y_i) 为区域 s 内像素的坐标； (\bar{x}, \bar{y}) 为区域 s 的质心。图 3 给出若干个图形及其离散度，从图 3 中可以看出，形状越不规则， $D(s)$ 值越大。

由多尺度分析特性可知，在细尺度空间中，图像受噪声影响严重，但有利于目标边界的精确定位；在粗尺度空间中，噪声得到抑制，但一些小的目标区域被消除，且目标边界被模糊化，难以精确定位。在高分辨力 SAR 图像中，建筑物的尺寸大小不一，一些小的建筑物在粗尺度空间中被滤除，因此，本文只选择分辨率较高的第 1 级与第 2 级低频子带进行处理，并用“或运算”来合成 2 个尺度上得到的目标区域。图 4(b)给出了对图 4(a)(图像大小为 261 像素×187 像素)进行多尺度融合区域分析的结果。实验过程中，对图像进行了 3 级 NSCT 分解，每级的方向数均设为 8；在多尺度融合区域分析中，经过多次实验， th_{a1} 设为 0.05， th_{a2} 设为 10。从图中可以看出，多尺度融合区域分析方法有效提取了图像中大小不一的建筑物，但由于受噪声等因素的影响，一些同样呈现强散射性且形状较为规则的非建筑物区域被当作建筑物提取出来，而 L 型与口型建筑物由于面积过小未被提取出来。

1.3 多尺度融合边缘检测

RoA 算子^[10]具有良好的抗噪性及检测时的恒虚警特性，在 SAR 图像边缘检测中得到了广泛应用。但其定位精确度较差，且对弱边缘不够敏感，容易遗漏图像中的细微边缘，因而单独使用 RoA 算子无法实现边缘的有效提取。NSCT 变换具有高度的方向性和各向异性，能捕获包括弱边缘在内的几何结构信息，可提取图像中大部分边缘信息且定位精确，因而可利用 NSCT 系数进行边缘检测。但在 NSCT 分析过程中，斑点噪声与边缘、纹理等细节信息一起被捕获在各高频方向子带中，虽然经初始化后噪声得到了抑制，但这难以从根本上消除噪声带来的不良影响。因此，本文先分别用 RoA 算子和 NSCT 高频信息进行边缘提取，得到边缘图像 $E_1(x, y)$ 和 $E_2(x, y)$ ，然后采用基于 DS 证据理论的融合算法^[11]对 $E_1(x, y)$ 和 $E_2(x, y)$ 进行合成得到边缘图像 $E'(x, y)$ 。

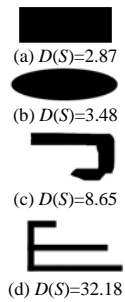


Fig.3 Dispersion examples
图 3 离散度实例

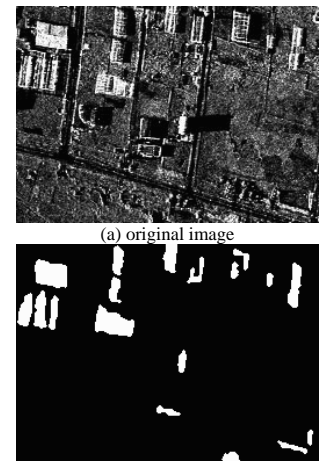


Fig.4 Multi-scale fusion region extraction
图 4 多尺度融合区域分析

受噪声等因素的影响，检测出的边缘图像中通常会有一些孤立点、短线段存在，且边缘处有断裂。为得到完整的边缘，需要将断裂处的边缘连接起来，并将孤立点与短线段滤除。这里，若 2 条线段满足邻近性、共向性 2 个条件^[12]，进行连接，否则不连接。由于得到的边缘较粗，不利于建筑物目标的准确提取与精确定位，采用形态学方法进行细化处理。最后，遍历边缘图像，滤除长度小于 t (本文设为 5) 的线段，以进一步消除噪声带来的不良影响。

图 5 给出了对图 4(a)的多尺度融合边缘检测结果。从图中可以看出，RoA 算子(窗口尺寸为 3×3 ，进行了 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 共 8 个方向的边缘检测)对强边缘的检测效果较好，对弱边缘的检测效果不是很理想。基于 NSCT 高频信息的边缘检测方法充分利用了 NSCT 对弱边缘敏感的特性，能检测出大部分建筑物的边界，但部分建筑边缘发生断裂。而多尺度融合边缘检测有效融合了 RoA 算子与基于 NSCT 高频信息边缘检测方法的优点，在抗噪性与边缘提取上都获得了较为满意的结果。

1.4 建筑物提取

虽然多尺度融合区域分析能提取潜在建筑物区域，但图像中一些同样呈现强散射性且形状较为规则的非建筑物区域会被当作建筑物提取出来。同时，SAR 特殊的成像机制使得部分建筑物呈现 L 型、口型，受噪声等因素的影响，这些建筑物在分割过程中断裂成若干部分，使得原本面积就很小的区域变成面积更小的区域，最终导致其被当作虚警滤除。因此，需结合区域和边缘信息来对虚警进行滤除，对漏检 L 与口型建筑物进行补充。

1.4.1 虚警区域滤除

高分辨力 SAR 图像中的建筑物通常呈现高亮度且具有一定的面积，而其与周围背景的高对比度使得建筑物目标的边界明显。基于此可以认为，真实的建筑物在边缘图上必定有边缘与其对应。理想情况下，建筑物边缘是一个闭合矩形边界、2 条平行线或是 1 条直线。但由于 SAR 图像受噪声影响严重，提取的边缘通常与真实地物边界有一定的差距，这时建筑物的边缘可能退化成一个不规则闭合区域、2 条近似平行线段或是 1 条线段。

基于上述分析，设定如下规则对多尺度融合区域分析结果进行虚警滤除：对于每一区域，当且仅当在边缘图像上能找到一个闭合边界或是一条与其长度相当的线段时，保留该区域(如图 6(a)所示)，否则当作虚警滤除(如图 6(b)所示)。同时，为了避免一个建筑物区域分裂成若干区域，设定如下规则进行整合：对于每一区域，若有另一个区域与其处于同一闭合边界内，将这 2 个区域进行合并(如图 6(c)所示)。

1.4.2 L 与口型建筑物提取

1) L 型建筑物提取

虽然有些建筑物在 SAR 图像上呈现 L 型，但边缘图像中的 L 型边界不一定是建筑物，还有可能是道路的交叉处和不同地物的交界处。基于此，设定如下规则对 L 型建筑物进行提取：对于边缘图像 E 中的每一条 L 型边界(如图 7 所示)，若其同时满足下列 2 个条件时，认定其为 L 型建筑物，否则为非建筑物。

$$\frac{\max(l_1, l_2)}{\min(l_1, l_2)} \leq th_{b1} \tag{3}$$

$$th_{b2} B_{\max} \leq \max(l_1, l_2) \leq th_{b3} B_{\max} \tag{4}$$

式中： $\max(), \min()$ 分别为取大和取小函数； l_1, l_2 分别为线段 1 和线段 2 的长度； $th_{b1}, th_{b2}, th_{b3}$ 为预先设定的阈值； B_{\max} 为已确认的最大建筑物长轴。从实际经验可知，线段 1 和线段 2 的长度越接近，L 型边缘为 L 型建筑物的可能性越大，反之，则越小，故将 th_{b1} 设为 3；当 $\max(l_1, l_2)$ 值很大时，L 型边缘为交叉道路、不同地物边界的可能性更大，故将 th_{b2} 和 th_{b3} 分别设为 0.5 和 1.5。

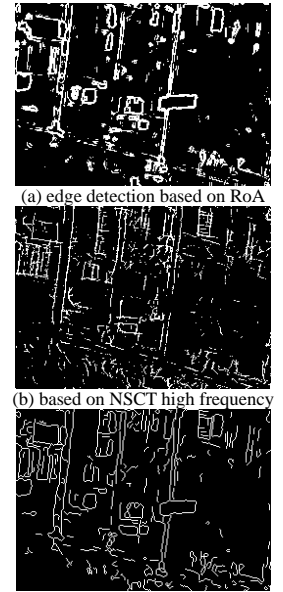


Fig.5 Edge detection results
图 5 边缘检测结果

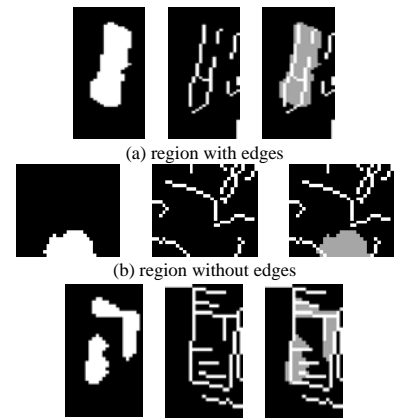


Fig.6 Part of region and edge
图 6 部分区域与边缘图

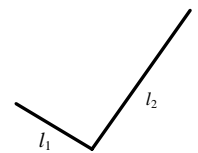


Fig.7 L shaped edge
图 7 L 型边界示意

2) 口型建筑物提取

虽然建筑物边界可能是一个闭合边界，但边缘图像中的闭合边界不一定是建筑物的边界，有可能是同样呈现强散射特性的物体或是与周围背景有着高对比度的暗区(如图 8 所示)。基于此，设定如下规则对口型建筑物进行提取：对于边缘图像 E 中的每一闭合区域 e_i ，若其同时满足下列 3 个条件时，认定其为建筑物，否则为非建筑物。

$$A(e_i) \geq th_{c1} B_{area}, G(e_i) \geq th_{c2} B_{mean}, D(e_i) \leq th_{c3} \quad (5)$$

式中： $A(\bullet)$, $G(\bullet)$, $D(\bullet)$ 分别为区域的面积、灰度均值和离散度； B_{area} , B_{mean} 分别为已确认的最大建筑物的面积和最亮建筑物的灰度均值； th_{c1} , th_{c2} 和 th_{c3} 为预先设定的阈值。

通过分析建筑物特性可知，当闭合区域面积过小或灰度均值较低时，其为非建筑物的强散射体或是阴影等虚警的可能性更大，故将 th_{c1} 和 th_{c2} 设为 0.1；同时，结合图 3 的离散度实例可知，闭合区域的形状越规则，其为建筑物的可能性越大，故将 th_{c3} 设为 3。

图 9 给出了融合区域与边缘信息的建筑物提取结果。从图 9(c)中可以看出，本文方法提取了包括 L 和口型在内的建筑物，但未能提取图 4(a)中白色圆圈内的建筑物，这是由于该建筑物呈曲线形，在多尺度融合区域分析过程中，其由于面积较小被当作虚警滤除，而在融合区域与边缘信息的建筑物提取过程中，其形状较为不规则，难以与其他边缘区分开来，最终导致该建筑物未被提取出来。



(a) region analysis of multi-scale fusion (b) edge detection of multi-scale fusion (c) extracted buildings

Fig.9 Buildings extraction by fusing region and edge

图 9 融合区域与边缘信息的建筑物提取结果

2 实验结果及分析

为验证本文方法的性能，对多幅不同场景的实测高分辨力 SAR 图像进行了实验。实验环境如下：Intel Core i3 CPU 530, 2.93 GHz, 3.24GB RAM，操作系统为 Windows XP-32 bit，实验平台为 Matlab2011a。鉴于篇幅有限，给出其中 3 组实验。

实验 1 结果如图 9 所示，具体过程已在前文中给出。该实验对象包含典型的 L 和口型建筑物。由图 9(c)可以看出，本文算法正确提取了 17 个建筑物，漏检 1 个，查全率为 94%。

实验 2 如图 10 所示。从图 10(a)(图像大小为 283 像素×225 像素)可以看出，图像中部分建筑与背景差异较小，情况复杂。实验过程中，RoA 算子的窗口尺寸设为 5×5；在多尺度融合区域分析中，经过多次实验， th_{a1} 设为 0.03， th_{a2} 设为 35。从图 10(b)中可以看出，多尺度融合区域分析方法有效提取了图像中大小不一的建筑物区域。从图 10(c)~(e)中可以看出，多尺度融合边缘检测方法较为准确地提取了地物的边缘结构信息。图 10(f)给出了融合区域与边缘信息提取的建筑物区域。可以看出，本文方法提取了图像中的 11 个建筑物，查全率达到 100%，但未能完整地提取图 10(a)中白色方框内的建筑物，这是由于该建筑物内灰度分布有较大差异，上半部分与周围背景灰度相近，在多尺度融合区域分析过程中被归入背景区域；同时，由于上半部分与周围背景的边界不够明显，RoA 算子和基于 NSCT 高频信息的边缘检测方法均未能检测出完整的边缘轮廓，最终导致只能提取部分建筑物。图 10(g)给出了文献[5]提出的基于多特征融合的建筑物检测算法得到的结果，可以看出，该方法无法检测出图 10(a)中的 2,3,4 号建筑物，这是由于该方法综合利用直线和阴影作为主要特征，当建筑物边缘不明显或不存在阴影时，该方法便无法检测出建筑物。

实验 3 如图 11 所示。从图 11(a)(图像大小为 208 像素×122 像素)可以看出，该实验对象包含了 6 栋建筑物，虽然部分建筑物亮度分布极不均匀，但建筑物的形状较为规则。实验过程中，RoA 算子的窗口尺寸设为 3×3，在多尺度融合区域分析中，经过多次实验， th_{a1} 设为 0.1， th_{a2} 设为 10。实验结果如图 11(b)~(f)所示。可以看出，多尺度融合区域分析方法有效提取了图像中 2,3,4,5 号建筑物，1 和 6 号建筑物由于亮度分布不均，在分割过程中分裂成小区域而被当作虚警滤除。由于图像中的建筑物形状较为规则，RoA 算子与基于 NSCT 高频信息的边缘检测方法均较为完整地检测出了建筑物的边缘轮廓，融合其结果的多尺度融合边缘检测方法获得了较为满意的结果。图 11(f)给出了融合区域与边缘信息提取的建筑物。可以看出，本文方法提取了图像中的 6 个建筑物，查全率达到 100%。图 11(g)给出了文献[5]所提方法的结果。可以看出，由于 1,2,5 和 6 号建筑物均没有明显的阴影区域，所以该方法无法检测出这些建筑物。

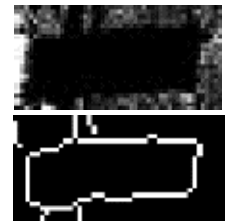


Fig.8 False alarm map

图 8 虚警示意图

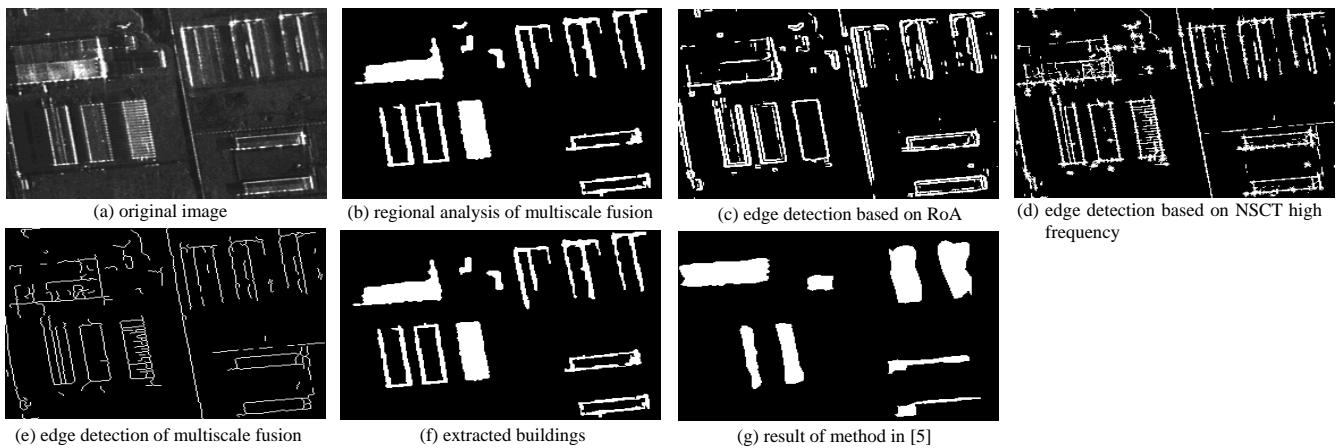


Fig.10 The second experiment of building extraction

图 10 建筑物检测实验二

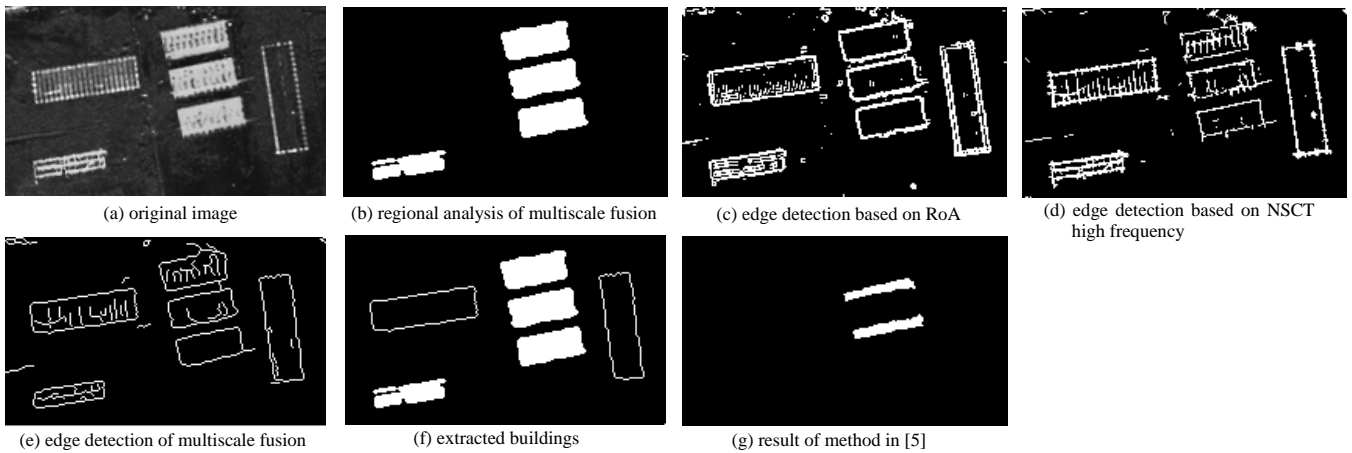


Fig.11 The third experiment of building extraction

图 11 建筑物检测实验三

另外，在 20 幅包含建筑物的高分辨率 SAR 图像(空间分辨率为 1 m)数据集上，采用本文提出的建筑物提取方法均能有效地克服噪声及灰度不均等不良因素的影响，较为完整地提取图像中的建筑物目标，平均查全率达到 94%，为后续的各类处理奠定良好的基础。

需要指出的是，本文算法较为复杂，在 Matlab 环境中对 1 幅 208 像素×122 像素的图像进行处理耗时约为 15 s。在实际应用中，如果将代码移植到 C 或 C++等执行效率较高的环境中或是采用通用图形计算显卡(GPU)进行算法的并行化实现利用，算法的运行效率将大大提高。

3 结论

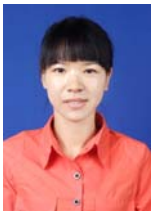
本文提出的基于 NSCT 多尺度信息融合的建筑物提取方法充分利用了高分辨率 SAR 图像中建筑物的目标特性及 NSCT 多尺度分析方法的优点，在提取潜在建筑物区域和边缘结构信息的基础上，融合区域和边缘信息进行建筑物的精确提取。实验结果表明，本文方法不仅能提取图像中大小不一的建筑物，且能提取 L 与 □型建筑物在内的目标区域，在实验所用图像上的平均查全率达到 94%，因此本文方法能有效提取 SAR 图像中的建筑物。下一步工作是实现算法的并行化，提高运行效率。

参考文献：

- [1] BENARCHID O,RAISSOUNI N,EL ADIB S,et al. Building extraction using object-based classification and shadow information in very high resolution multispectral images, a case study: Tetuan, Morocco[J]. Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision, 2013,4(1):1-8.
- [2] 樊庆聚,计科峰,冷祥光,等. 基于分块预判断的 SAR 图像舰船目标检测方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016, 14(3):378-384. (FAN Qingju,JI Kefeng,LENG Xiangguang,et al. A method for SAR ship detection based on block prescreening[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016,14(3):378-384.)

- [3] SIMONETTO E,ORIoT H,GARELLO R. Rectangular building extraction from stereoscopic airborne radar images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005,43(10):2386–2395.
- [4] 徐旭,张风丽,王国军,等. 基于 L 型结构中心线的 SAR 图像建筑物提取方法[J]. 计算机应用研究, 2015,32(6): 1888–1891. (XU Xu,ZHANG Fengli,WANG Guojun,et al. Approach to extract building from SAR image based on center line of L-shaped structure[J]. Application Research of Computers, 2015,32(6):1888–1891.)
- [5] 苏娟,张强,陈炜,等. 高分辨率 SAR 图像中建筑物特征融合检测算法[J]. 测绘学报, 2014,43(9):939–944. (SU Juan, ZHANG Qiang,CHEN Wei,et al. A building detection algorithm based on feature fusion in high resolution SAR images[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014,43(9):939–944.)
- [6] ARTHUR L,ZHOU J P,DO M N. The nonsubsamped contourlet transform: theory, design, and applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005,15(10):3089–3101.
- [7] MOONON A U,HU J W. Multi-focus image fusion based on NSCT and NSST[J]. Sensing and Imaging, 2015,16(1):1–16.
- [8] SHARET N,SHIMSHONI I. Analyzing data changes using mean shift clustering[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2016,30(7):1650016.
- [9] CHEN Y Q,NIXON M S,THOMAS D W. Texture classification using statistical geometric features[J]. Pattern Recognition, 1995,28(4):537–552.
- [10] BOVIK A C. On detecting edges in speckle imagery[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988,36(10):1618–1627.
- [11] 苗喜峰. 基于多尺度信息融合的 SAR 图像边缘检测[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010. (MIAO Xifeng. Edge detection for SAR images based on multiscale information fusion[D]. Xi'an,China:Xi Dian University, 2010.)
- [12] 贾承丽,赵凌君,吴其昌,等. 基于遗传算法的 SAR 图像道路网检测方法[J]. 计算机学报, 2007,30(7):1186–1194. (JIA Chengli,ZHAO Lingjun,WU Qichang,et al. Automatic extraction of road network from SAR imagery based on genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Computers, 2007,30(7):1186–1194.)

作者简介:



张雄美(1983–), 女, 浙江省丽水市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为遥感图像处理. email:zxw.ok@163.com.

易昭湘(1980–), 男, 湖南省邵阳市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为信息处理.

蔡幸福(1983–), 男, 河南省兰考市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为 SAR 成像与干扰技术.

高 晶(1983–), 女, 西安市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为图像信息处理.