

一种快速的 SAR 图像分类方法^{*})

薛笑荣¹ 曾琪明² 赵荣椿³

(北京工业大学机械工程与应用电子技术学院 北京 100022)¹

(北京大学遥感与地理信息研究所 北京 100871)² (西北工业大学计算机学院 西安 710072)³

摘要 SAR 图像分类是 SAR 图解译中非常重要的环节,但由于 SAR 图像中相干斑噪声的存在,使得传统方法不能很好地对 SAR 图像进行分类。再之,SAR 图像分类具有计算量大、耗时长、耗时的特点,SAR 所能获取的信息数据量也越来越大,如何快速、准确地对 SAR 图像进行分类以及及时获取有用信息显得日益迫切。本文提出了一种快速的 SAR 图像分类方法,该方法将图像的空间域和频域特征相结合,并基于并行计算环境,对图像中的每一点都计算相应的小波能量特征、共生灰度矩阵特征和滤波后的灰度特征,并组成特征向量对 SAR 图像进行分类。实验结果证明该方法能取得较好的分类效果,且速度较快。

关键词 SAR 图像,图像分类,并行计算,小波能量特征,灰度共生矩阵

A Fast Method of SAR Image Classification

XUE Xiao-Rong¹ ZENG Qi-Ming² ZHAO Rong-Chun³

(The College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022)¹

(The Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871)²

(The College of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)³

Abstract SAR image classification is a key step in SAR image interpretation, but for the existing of speckle in SAR image, SAR image can't be classified well with traditional methods. Furthermore, it usually takes long time to classify SAR image due to vast calculation, and the data obtained by SAR is larger and larger, how to classify SAR image precisely and quickly appears more and more urgent. Based on the feature of SAR image and the advantage of parallel computing in high performance computing, a fast method of parallel SAR image classification is proposed. The features in spatial domain and in frequency domain are combined, features in the both domains are calculated in the parallel computing environment, and finally SAR image is classified according to all feature vectors recalled from all the processes. The experiment results show that good result of classification can be obtained quickly with the method.

Keywords SAR image, Wavelet filter, Wavelet energy feature, Gray-level co-occurrence, Image classification

1 引言

SAR 图像分类是 SAR 图像解译中非常重要的环节,但由于 SAR 图像中相干斑噪声的存在使得传统方法不能很好地对 SAR 图像进行分类。再之,随着航空航天技术和 SAR 技术的发展,所能获取的遥感信息量也越来越大。另外,SAR 图像分类具有计算量大、耗时长、耗时的特点。如何快速、准确地对 SAR 图像进行分类以及及时获取有用信息显得越来越重要。

由于 SAR 图像存在相干斑噪声,使得 SAR 图像的分类精度受到很大的影响。因此,在 SAR 图像分类之前,应该先进行相干斑噪声抑制。然而通过大量试验证明,现有的相干斑噪声抑制方法可提高图像的分辨率,但是与此同时却损失了有利于分类的纹理信息。这对纹理图像的分类来说是不利的,特别是对于纹理丰富的 SAR 图像就显得更为不利。

可用作 SAR 图像分类的特征包括灰度特征和纹理特征。仅依靠灰度特征是很难实现 SAR 图像的正确分类的,这是由于 SAR 图像反映的是地物对雷达波的后向散射特性,不同地物如果具有相同或相近的后向散射系数,那么它们在 SAR 图像中就表现为相同或相近灰度值,从而发生混淆。而相干斑噪声的存在更加加剧了混淆现象,使得仅利用灰度特征进行分类的结果在实际应用中根本无法接受。原图像由于受相干

斑噪声影响,灰度分辨率很差,但纹理信息仍然非常丰富。而用现有的相干斑噪声抑制方法对 SAR 图像去噪,使图像灰度分辨率得到了较为显著的改善,但纹理信息受到了较大的损失^[1~3]。因此我们结合纹理和灰度两者的长处,提出将图像的纹理特征和滤波的灰度特征相结合来对 SAR 图像进行分类。

本文兼顾上述两种特征的长处,将图像的纹理特征和滤波的灰度特征相结合,将空间域和频域特征相结合,对图像中的每一点都计算相应的小波能量特征、共生灰度矩阵特征和滤波后的灰度特征,并组成特征向量对 SAR 图像进行分类,这样计算量就较大,但由于采用并行计算,因此依然可较快得到结果。实验结果证明该方法能取得较好的分类效果,且速度较快。

2 小波能量特征^[4]

人类视觉系统是以多尺度的方法来处理图像的,而小波具有良好的时频局部特征、尺度变化特征和方向特征。本文采用小波能量计算纹理特征,所采用的计算公式如下:

$$e = \frac{1}{N * N} \sum_{x,y=0}^{M * N - 1} |s(x,y)|^2 \quad (1)$$

$s(x,y)$ 为子图像系数, $M * N$ 代表子图像的大小。本方

^{*})本文得到中国博士后科学基金资助项目(2005038029)与国家自然科学基金(40571098)资助。薛笑荣 博士后,研究方向为图像处理与模式识别;曾琪明 博士,研究方向为遥感及应用;赵荣椿 教授,博导,研究方向为计算机视觉和图像处理。

法对以原图像各像元为中心的 8×8 小图像进行一次小波分解,得到 4 个子图像:一个低频子图像和三个高频子图像。

3 灰度共生矩阵^[5,6]

测度细微纹理有很多数学方法,其中比较有效的一种方法是灰度共生矩阵法(Gray Level Co-occurrence Matrix)。而对于中等纹理的测度,纹理频谱方法较好。在结合小波分析和马尔可夫随机场模型的基础上,本文给出的自动多分辨率分割方法对 SAR 图像进行纹理分割,这种方法对于 SAR 图像中的三种纹理均有一定的效果。

灰度共生矩阵的定义是:设图像某一区域有 N 个灰度值,则对应该区域的灰度共生矩阵是一个 $N \times N$ 阶矩阵,在矩阵中位置 $(i, j)(1, \dots, i, \dots, N; 1, \dots, j, \dots, N)$ 处元素是从灰度为 i 的像元离开某个固定位置关系 $\delta = (DX, DY)$ 处像元灰度为 j 这种现象出现的概率, δ 被称为位移量。在实际应用中,作为纹理识别的特征量是由上述的灰度共生矩阵计算出来的一些统计量。Haralick 曾提出 14 种由灰度共生矩阵计算出来的统计量。Baraldi^[5]通过大量的实验认为,对于 SAR 图像来说以下四种统计量效果最好:

$$\text{角二阶矩 (ASM)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j)^2 \quad (2)$$

$$\text{熵 (ENT)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j) \cdot \log P_{\delta}(i, j) \quad (3)$$

$$\text{同质区 (HOM)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j) / [1 + (i - j)^2] \quad (4)$$

$$\text{非相似性 (DIS)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |i - j| \cdot P_{\delta}(i, j) \quad (5)$$

这里的 $P_{\delta}(i, j)$ 是灰度共生矩阵中位置 (i, j) 处的元素的值。对图像上的每一像元求出某种邻域的灰度共生矩阵,再求出某一统计量,就得到对应该统计量的纹理图像,若干统计量可

以组成特征向量,应用聚类算法对图像进行分类。

4 本文 SAR 图像分类串行算法与并行算法流程

文中方法相应串行方法的思想是:将图像的空间域和频域特征相结合,对图像中的每一点计算相应的小波能量特征、共生灰度矩阵特征和滤波后的灰度特征,再将它们组成特征向量,用 K-均值聚类法^[7]对它们聚类,从而实现 SAR 图像分类。串行算法具体步骤为:

(1)以原图像每个像元为中心,取 8×8 窗口,计算 8×8 小图像的 4 个灰度共生矩阵特征,并对小图像进行一次小波分解,计算 4 个小波能量特征,上述 8 个特征合起来作为像元的纹理特征;

(2)对原始 SAR 图像进行小波滤波,并和步骤(1)一样,以图像每个像元为中心,取 8×8 窗口,计算 8×8 小图像的灰度均值作为像元的灰度特征。

(3)将(1)中的纹理特征和(2)中的灰度特征合起来作为像元的特征向量;

(4)对所有像元的特征向量采用 K-均值法进行聚类,从而得到分类结果。

串行分类算法具体流程图见图 1 所示,其分类效果好,但花费时间却较长。通过对串行程序各环节运行时间的跟踪,发现特征计算所花费时间最长,这是由于特征计算量很大,在串行算法中,对每一像元需计算 9 个特征,通过对串行方法的分析,发现特征计算可采用并行计算,以此加快分类速度。在上述分析的基础上,建立了相应的并行分类算法。具体做法是对要分类的 SAR 图像根据进程数进行分块,在对上述各块图像的每个像元提取相应特征并组成特征向量后,对各块图像像元的特征向量进行收集,然后进行聚类,从而得到分类结果,具体见图 2 所示。



图 1 SAR 图像串行分类算法流程图

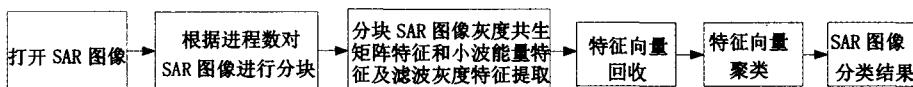


图 2 SAR 图像并行分类算法流程图

5 实验结果及分析

我们在机群系统上对算法进行了实现,由于图像的大小是影响算法性能的关键因素,因此在实验中,我们选用大小不同、含噪声不同的图像及采用不同的进程做实验并进行分析比较。测试平台的配置为:8 台微机构成 cluster 结构(1 个管理结点(兼做计算),7 个计算结点),每个结点的配置为 P4-2.4G 的 CPU,256M 的内存,通过 100Mbps 的快速交换式以太网互连,软件环境为 Windows2000 操作系统,NT-MPICH 消息传递并行库。图 3 和图 5 为原始 SAR 图像的缩略图,图 4 和图 6 为相应分类结果的缩略图。

为了测试算法的并行性能,文章利用大小不同的 SAR 图像并在不同数目的计算机上进行测试,表 1 给出了大小不同的 SAR 图像分别在 1 台、2 台、4 台、8 台计算机上进行分类所用时间及并行效率,通过对实验结果分析表明,本文算法具有良好的并行性能;但另一方面,算法的并行性能也受着数据

传输时间的影响,通过提高网络带宽,可以减少数据在网络中的传输时间,实验分析表明,网络带宽越高,算法的并行性能发挥得越好,可扩展性越好。

结论 SAR 图像分类是 SAR 图像解译的关键环节,具有计算量大、耗时长特点。为了加快 SAR 图像分类,本文针对 SAR 图像的特点,研究并实现了一种分布存储环境下的快速 SAR 图像分类方法。在该算法中,根据进程数的不同,将待分类的 SAR 图像分成相应数目的块,各台计算机对相应的块进行特征向量计算,然后进行特征向量回收,并对所有特征向量进行聚类,从而实现 SAR 图像分类。每个处理器通过计算本地输入子图像在目标图像中的对应区域,很好地解决了数据局部性问题,大大提高并行效率。文章对算法进行了讨论,并在机群系统上对算法进行实现。利用大小不同及受噪声污染不同的 SAR 图像进行测试,结果表明我们的算法具有较好的分类效果与良好的并行性能,且网络带宽越高,算

(下转第 239 页)

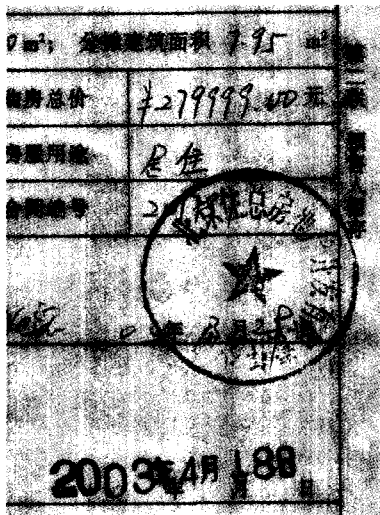


图 4 IDEAHE 增强图像

图 1 是编号为“京朝 04 字第 717980 号”档案中的一个截取子图,其灰度范围明显窄小,目标信息和背景信息的灰度差值较小,即对比度较小。图 2 是图 1 经过直方图均衡化(HE)处理后的结果,由于整幅图像的灰度级服从均匀分布,灰度级的范围加大,因此图像细节明显增多,但图像的噪声也随之放大。图 3 是图 1 经过 DEAAHE 方法处理的结果,与图 2 相比,它滤除了大部分噪声,同时也加强了图 1 中的细节。图 4 是图 1 经过 IDEAHE 方法处理后的结果。

比较图 3 和图 4,可以看出:1)图 3 的锐化效果强于图 4,比如图像上部的印刷字体“建筑面积”几个字,图 3 的这几个字的笔画边上反差非常强烈,而图 4 则比较柔和。这是由于式(1)中只有图像细节加强的成分,即只要存在图像细节,就

将该细节放大并线性地加入到经过 AHE 处理过的像素点上。而在式(3)中,参数使得图像的细节加强随待处理点的梯度而变化,使细节加强曲线变得更加平滑,减少了锐化现象。2)图 4 比图 3 更加明亮,具有更好的视觉效果。这是因为式(3)中考虑了噪声因素,小于一定门限的噪声没有被放大,而且即使是大于门限的噪声,也不是简单的线性放大。

由于 IDEAHE 方法对梯度小于等于一定阈值的像素不进行细节加强,因此,相对于 DEAAHE 方法,它减少了计算量。

在式(3)和式(4)中,参数 ϵ, k, λ_1 和 λ_2 的取值要视图像增强的对象而定。对于我们处理的图像类,实验表明, ϵ 的取值范围在 3 到 10 之间, k 的取值范围在 2 到 5 之间, λ_1 的取值范围在 0.5 到 2 之间, λ_2 的取值在 2 到 20 之间。

经 IDEAHE 方法增强的档案图像具有良好的视觉效果,符合档案数码化的图像处理要求^[6,7],可用于实际的档案图像信息系统。

参考文献

- Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing, Second Edition. Prentice-Hall Inc., March 2003. 72~74
- 孙即祥. 图像处理[M]. 北京:科学出版社,2004
- Jongsan L. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. PAMI-I, 1980(2):165~168
- Highnam R, Brady M. Model-based image enhancement of far infrared images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 410~415
- Tang M, Ma S D, Xiao J. Model-based adaptive enhancement of far infrared image sequences[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21:827~835
- 企业档案电子化管理标准[S]. 北京:国家工商行政管理局,2002
- 企业档案处理技术标准[S]. 北京:国家工商行政管理局,2000

(上接第 223 页)

法的可扩展性能越好。

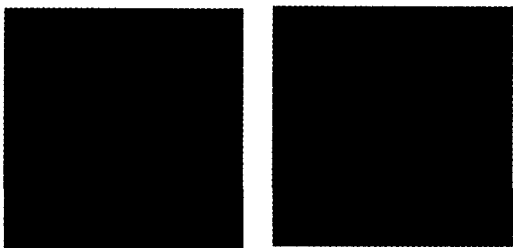


图 3 SAR 原始图像 1 图 4 SAR 图像分类结果 1

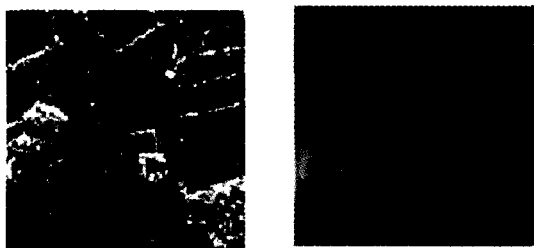


图 5 SAR 原始图像 2 图 6 SAR 图像分类结果 2

表 1 并行效率

(并行效率 = $\frac{\text{在 } n \text{ 台计算机上的并行运行时间}}{\text{串行程序运行时间}}$)

采用的计算机个数		1(串行)	2	4	8
SAR 图像 1	运行时间(ms)	132203	69142	42569	28950
	效率		0.523	0.322	0.211
SAR 图像 2	运行时间(ms)	375172	193590	119680	76535
	效率		0.516	0.319	0.204

参考文献

- Schistad A H, Jain Sothberg A K. Texture Fusion and Feature Selection Applied to SAR Imagery[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(2): 475~478
- 舒士畏,洪峻,林兵. 目标的雷达图像特征及其提取方法的研究. 雷达图像分析及地质应用, 科学出版社, 1991
- 宿富林,吴江,马国强. 相干斑噪声背景下的 SAR 图像分类方法研究. 系统工程与电子技术, 2002, 24(4): 34~36
- Unser M. Texture classification and segmentation using wavelet frames[J]. IEEE Trans. Image Processing, 1995, 4(11): 1549~1560
- Baraldi A, Parmiggian F. An Investigation of the Texture Characteristics Associated with Gray Level Co-occurrence Matrix Statistical Parameters. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(2): 293~303
- Ulaby F T, Kouyate F, Brisco B, Lee Williams T H. Texture Information in SAR Images. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1986, 24(2): 235~245
- 章毓晋著. 图像分割. 北京:科学出版社,2001