

中图法分类号: TP393.109 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2011)09-1689-07

论文索引信息: 沈占锋, 骆剑承, 吴炜, 胡晓东. 采用并行均值漂移算法实现农林地块边界的精确提取 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1689-1695

采用并行均值漂移算法实现农林地块边界的精确提取

沈占锋, 骆剑承, 吴炜, 胡晓东

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 在基于高分辨率遥感影像的农林地块自动/半自动识别应用中, 地块边界提取是地块信息精确识别的基础, 其精度决定了地块信息识别的精度, 这一过程是通过遥感影像多尺度分割过程实现的。在综合比较几种常用的面向对象分割方法效果的基础上, 认为均值漂移算法能够更好地满足农林地块识别与边界提取的需求, 并可获得较好的地块边界分割效果。进一步面向实际应用问题, 本文对算法的实现进行了以下两方面的改进: 从实现方式角度考虑, 对其在多尺度实现方式方面进行了改进; 从算法效率角度考虑, 针对农林地块识别过程中数据量大、计算复杂的特点, 对其进行了基于 MPI (message passing interface) 集群计算环境及 OMP (OpenMP) 多核任务处理方式的改进, 能够显著提高农林地块数据的分割速度。相应地改进算法在实际应用中取得了较好的应用效果。

关键词: 农林地块; 多尺度分割; 均值漂移; MPI; OMP

Agricultural and forestry land boundary precise segmentation from remote sensing images by parallel mean shift algorithm

Shen Zhanfeng, Luo Jiancheng, Wu wei, Hu Xiaodong

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China)

Abstract: During the course of high-resolution remotely sensed images information recognition for agriculture and forestry, image segmentation is an important procedure since its results decide directly the effects of land-parcel auto recognition. After analyzing and comparing the segmentation effects of general methods, this paper draws the conclusion that mean shift algorithm can be applied to agriculture and forestry application and has been applied to multi-scale image segmentation because it can extract exactly the edges of the land-parcel. By analyzing the principle of the mean shift image segmentation, this paper improves the algorithm by using two methods, one is to implement the multi-scale merge of the segmentation parcels, and the other is to implement parallel segmentation in message passing interface (MPI) and OpenMP (OMP) model environments. And the applications in agriculture and forestry show that the precision and speed can meet the need of Agroforestry.

Keywords: agriculture and forestry land-parcel; multi-scale segmentation; mean shift; MPI; OMP

收稿日期: 2010-06-21; 修回日期: 2010-09-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40971228, 40871203); 水体污染控制与治理科技重大专项项目 (2009ZX07318-001)。

第一作者简介: 沈占锋 (1977—), 男, 副研究员。2005 年博士毕业于中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 主要从事高分辨率遥感影像信息提取与分析、分布式影像计算等方面的研究工作, 发表文章 50 余篇。

E-mail: shenzf@irsa.ac.cn

0 引言

SPOT5、QuickBird 等影像已经广泛应用于农林地块的自动/半自动识别^[1]。在农林地块信息识别过程中,农业图斑、林业小班的边界提取与识别是影像信息提取的基础,这一工作以往主要采用人工目视解译的影像判读方法实现,目前正在逐步被计算机的自动识别技术所代替^[2]。农林地块的一个显著特点是土地地块分明而不破碎,面向对象的影像分析方法正好适合^[3]。计算机自动实现图斑/小班的识别具有快速、准确的优点,其实现方法主要是先通过面向对象的影像分割过程实现图像地块边界的提取,将地块边界进行连接并形成地块对象,对地块对象的各种特征进行计算与匹配(或分类过程),实现农林地块的识别,并采用 GIS 方法对提取结果进行展现,进而形成面向土地利用状况资源调查,结合历史资料的地块变化检测等应用的专题图件^[4]。在面向对象的影像处理方法中,由于地块边界提取的精度直接决定了地块目标识别的精度与可用性,因此,影像的多尺度分割精度及其算法的适用性就成为本文的研究重点。

目前计算机实现农林地块的自动边界提取已经成为自动识别的一个瓶颈性问题,在此基础上可根据实际需求进行地块的再分裂/再合并,并进行分类、识别、变化检测等过程。当前各种分割算法中的过分割、欠分割现象相当普遍,而且,数据量的巨大及其数据处理效率的低下也是阻止大量影像分割算法应用推广的一个原因^[5]。以 SPOT5 来说,其 1 景融合影像的数据量要超过 1 GB,而对于 QuickBird 数据来说数据量则更大。如此庞大的数据量对于很多算法来说都是难以承受的,即便能够勉强处理,其效率也是非常低的,因此在实际应用中必须解决这个问题,即对能够处理的数据量与处理效率也有较高的要求。

对于多光谱遥感影像的分割任务来说,目前应用较多的多尺度分割算法包括多分辨率影像分割算法、分水岭分割算法以及均值漂移分割算法等^[6]。多分辨率分割算法受 e Cognition 软件保护,其算法原理没有公开,实用性也仅限于 e Cognition 软件,无法大范围推广应用;均值漂移是一种有效的统计迭代算法,并且具有较好的算法收敛性,已广泛应

用于聚类分析、图像分割、图像平滑、滤波、图像边缘提取和信息融合等方面^[7-9]。

本文结合农林地块边界提取的具体需求,通过分析研究均值漂移算法的实现过程,对算法在多尺度分割、并行处理速度方面进行了改进,提出了基于 MPI 及 OMP 的高斯均值漂移并行处理模型,使得基于并行处理环境的高斯均值漂移分割算法适用于农林地块识别过程,显著提高了算法效率。

1 高分辨率遥感影像分割方法

面向对象的影像分割方法已经广泛应用于高空间分辨率遥感影像分割中,其中常用的几种算法比较结果见表 1。各算法对比的方法主要是通过与实际人工目视解译的结果进行比较,并选择多幅不同数据量的 SPOT5、QuickBird 等影像进行各算法分割精度与速度的测试,再选择各算法中相对分割效果最好的尺度结果进行比较。

在实际大地资源调查中我们选择精度较高的均值漂移分割算法,但由于算法存在分割速度慢、大数据承受量差等缺点,因此本文将在下面对其进行多尺度实现及并行化改造等方面的改进。

表 1 不同分割算法的数据处理效率对比
Tab.1 Efficiency comparison of different image segmentation algorithms

	均值漂移	多分辨率	分水岭
分割精度	高	相对较高	相对较低
分割速度	慢	中	快
大数据承受量	差	好	中

1.1 面向对象的高分辨率遥感影像多尺度分割

均值漂移是一种特征空间中的自动聚类算法,是一种非参数估计密度函数的方法,对先验知识要求少,完全依靠训练数据进行估计,可以用于任意形状密度函数的估计,对于不同结构的数据具有很好的适应性和稳健性,不需要事先确定类别数,能使特征空间中每一个点通过有效的统计迭代“漂移”到密度函数的局部极大值点^[10],均值漂移算法原理详见文献[11-12]。

1.1.1 遥感影像的均值漂移分割

1) 影像的均值漂移分割
一幅遥感影像常被表示为带有 p 维向量的 2 维网格,当 $p = 1$ 时代表灰度图像,当 $p = 3$ 时代表彩

色图像,当 $p > 3$ 代表多光谱图像。统一考虑图像的空间信息和色彩(或灰度等)信息,组成一个 $p + 2$ 维的向量 $\mathbf{x} = (x^s, x^r)$,其中 x^s 表示网格点的坐标(2 维坐标 x, y), x^r 表示该网格点上 p 维向量特征。由于二者的相异性,需要作适当的归一化。因此,多元核函数定义为

$$K_{h_s, h_r}(\mathbf{x}) = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} k\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right) \quad (4)$$

x^s 为特征矢量的空间部分, x^r 为特征矢量的颜色部分, $k(x)$ 在空间和颜色域中都使用相同的核, h_s, h_r 分别为核带宽, C 为相应的归一化常数。通过控制参数 $\mathbf{h} = (h_s, h_r)$ 来决定核函数 $K_{h_s, h_r}(\mathbf{x})$ 的分割精度。

2) 分割后的合并过程

在以上完成影像的分割过程后,影像将被分割成为若干个不可再分割的碎小斑块,实际应用中的影像分割结果则是在这些碎小斑块的基础上的一系列合并的结果,不同的合并规则与合并参数决定了最终的分割效果的不同。合并流程大致如下:

假设 x_i 为影像数据, z_i 为其滤波影像, L_i 为第 i 个像元的标号;

(1) 进行均值滤波并记录所有像元点的收敛值,即 $z_i \leftarrow y_{i,c}$;

(2) 根据带宽参数 h_s, h_r 计算对应像元点 x 的区域收敛范围 $\{C_p\}_{p=1,2,\dots,m}$ (即满足 $x_s < h_s$ 与 $x_r < h_r$);

(3) 标号影像像素点 $L_i = \{p \mid z_i \in C_p\}$;

(4) 指定合并参数 M ,合并像元数小于 M 的斑块到其最相似的斑块中, $L'_i = \{p' \mid z_i \in C_{p'}, p' < p\}$ 。

1.1.2 均值漂移分割的多尺度实现

基于均值漂移高分辨率遥感影像的分割需要设置 3 个参数: h_r, h_s, M ,分别表示色彩尺度、空间尺度、最小区域合并尺度。通过设置 M 的大小来实现对影像的多尺度的分割。

由于高斯均值漂移分割算法是在特征空间中对样本点进行聚类的,因此,一般在实际应用中,把每个影像中的像素点都可以映射到特征空间上的一个点。对于彩色影像,可以取这个特征空间为色彩空间,如 Lab、Luv、HSL 颜色空间等。在确定高斯核函数及其对应的带宽参数 h_r, h_s 后,通过均值滤波过程实现影像的初始滤波与影像分割过程,存储相应的标号结果 $L_i = \{p \mid z_i \in C_p\}, i = 1, 2, \dots, n, p = 1, 2, \dots, m$,并作为后续多尺度合

并的基础。

在多尺度的实现过程中,通过设置最小区域合并尺度 M 可实现在微尺度分割的基础上进行不同尺度的对象合并过程,并实现同一尺度下不同对象的拓扑关系建立。首先,对标号结果 $\{L_i\}_{i=1,2,\dots,n}$ 进行存储,再根据给定的不同合并参数 M 对标号数据进行对象限制与再合并,完成不同尺度的分割结果,最后,对不同尺度间的对象建立拓扑关系,实现均值漂移分割算法的多尺度分割与尺度信息关联过程。

1.2 基于高性能计算的影像分割

1.2.1 基于数据分块的并行处理流程

目前在我国土地利用调查监测以及森林资源两类调查的技术规程中,都明确规定把高分辨率遥感数据(主要指 SPOT5,少量地区用 QuickBird、IKONOS 等)作为基础数据源,以提高调查的效率与精度。在实际生产管理中,由于数据量较大及算法的精度与速度方面的适用性问题,很多数据还仍然采用传统人工解译的方式进行边缘提取。针对这些问题,本文采用精度较高的均值漂移算法实现农林地块的多尺度分割。由于均值漂移算法存在速度慢、大数据量承受能力差等弱点,采用基于 MPI 集群计算环境及 OMP 多核处理环境的并行计算方法对均值漂移遥感影像分割算法进行了改进,并采用基于数据分块的方法实现过大影像数据的处理过程。对于海量数据,通过进行数据分块,并将较小数据块任务派送到不同处理器(核)上的方式^[13-14],能够有效解决处理器不能开辟过大内存的问题,并从数据处理的效率方面有所改进。改进算法所对应的网络拓扑结构如图 1 所示。

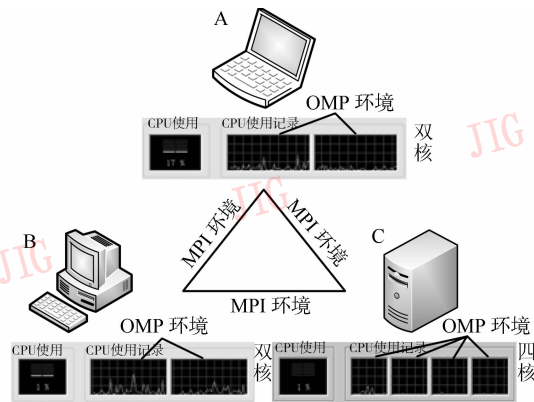


图 1 均值漂移算法的并行化实现网络结构

Fig. 1 Network structure of parallel mean shift

图 1 示意了本文在针对上述问题而给出的高

斯均值漂移算法的并行化改进结构示意图,其详细的数据分割流程如下:用户的计算机在接收影像分割的任务后,即在局域网内寻找已经部署好的其他可用计算资源。例如图 1 计算机 A 将会发现 B、C 的 MPI 计算环境及已经部署在其上的分割算法,3 台计算机将分别进行分割过程,而每台计算机也会自动探测计算机 CPU 由几个核构成,并分别采用相应的 OMP 环境实现多核的并行化过程,图 1 中 A、B 将分别采用双核实现分割算法,C 将采用 4 核实现分割算法,各个 CPU 处理核上的算法均实现 1.1 节所示的处理过程。因此从理论上讲,图 1 所示的结构将比常规的分割算法最高可提高 8 倍的效率。在实际应用中,将相应的算法部署到更大规模的并行环境中,可显著提高算法的处理效率。

1.2.2 数据分块的缝合线处理与块合并

这种基于数据分块机制的并行数据处理方法的优点就是能够有效地对单次处理的数据量

进行降低,从而能够满足单个 CPU 核所能承受的最大内存开辟量,再通过将任务分配至多个 CPU 处理核的方法,从而有效提高算法的效率。但是对于面向对象的影像分割方法来说,这种方法也存在一个较大的问题,那就是在分割线处本属于同一个地块的区域,由于数据分块的原因被分块至不同的 CPU 处理核(或不同的 CPU),而在均漂移过程中,相应的像素点无法向已经被分割了的另一块上进行“漂移”,从而导致本应属于同一地块的区域被分裂为两个甚至更多的地块,此时尽管只是简单地将同一块分裂为几个相邻地,但却将本应属于一个地块的光谱、纹理、形状信息分割为若干块,也破坏了相应地块对象的形状信息,因此在并行数据分割后,需要对这些数据块进行后处理并实现相应地块的合并。

采用如图 2 所示的处理流程进行相应地块的再合并。

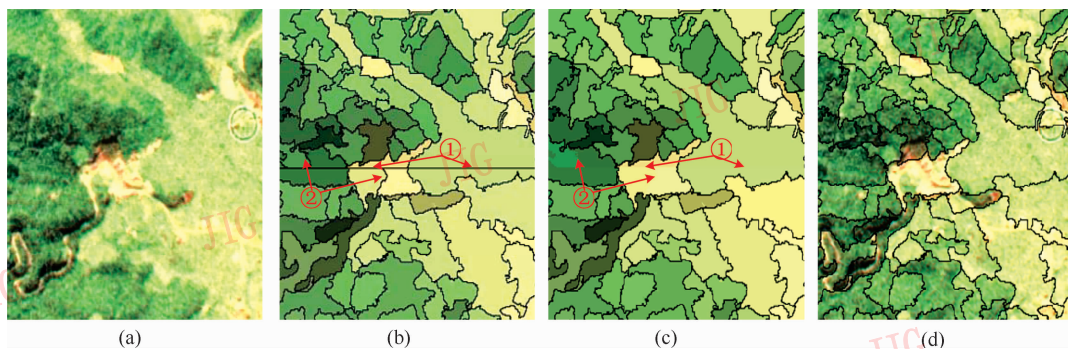


图 2 基于分块方法的影像并行化实现及其分割线后处理示意图

Fig. 2 Implementation of data-block and post-processing of separation-line

图 2 示意了基于分块方法的影像并行分割及其后处理的方法示意图。以数据分两块为例,图 2 中 (a) 为原始待分割遥感真彩色影像;(b) 为数据分为两块并分别进行分割后的结果,从 (b) 图中可以清晰地看出①处所指示的为影像分为两块后的合并线,而我们需要在后处理中由 CPU 的主进程自动地去除此缝合线的影响;(c) 为对此缝合线进行后处理的对象合并结果,可以看出②处为①处合并后的进一步地块合并后的效果,合并后就形成了农林地块边界的提取结果;(d) 为原始图像叠加分割线的最终地块边界提取结果(已经形成相应的地块对象)。

在图 2(b)—(d) 的后处理过程中,合并的规则制定是决定后处理效果的一个重要因素。采用方法

如下:沿合并线判断两地块的共用边界线占一定比例,两地块的色度均值在一定范围内,判断交点交叉类型等,具体算法参见文献[15]。

2 农林地块多尺度分割实验分析

对上述改进的均值漂移分割方法进行了地块边界提取的实验,实验数据选择全国第二次土地资源调查中所用的某地 SPOT5 影像的真彩色合成图像,并融合后形成空间分辨率为 2.5 m 的自然色合成影像,面向农林地块边界提取的需求,进行多种尺度的分割及地块边界提取,影像分割效果及同其他算法的对比图如图 3 所示。

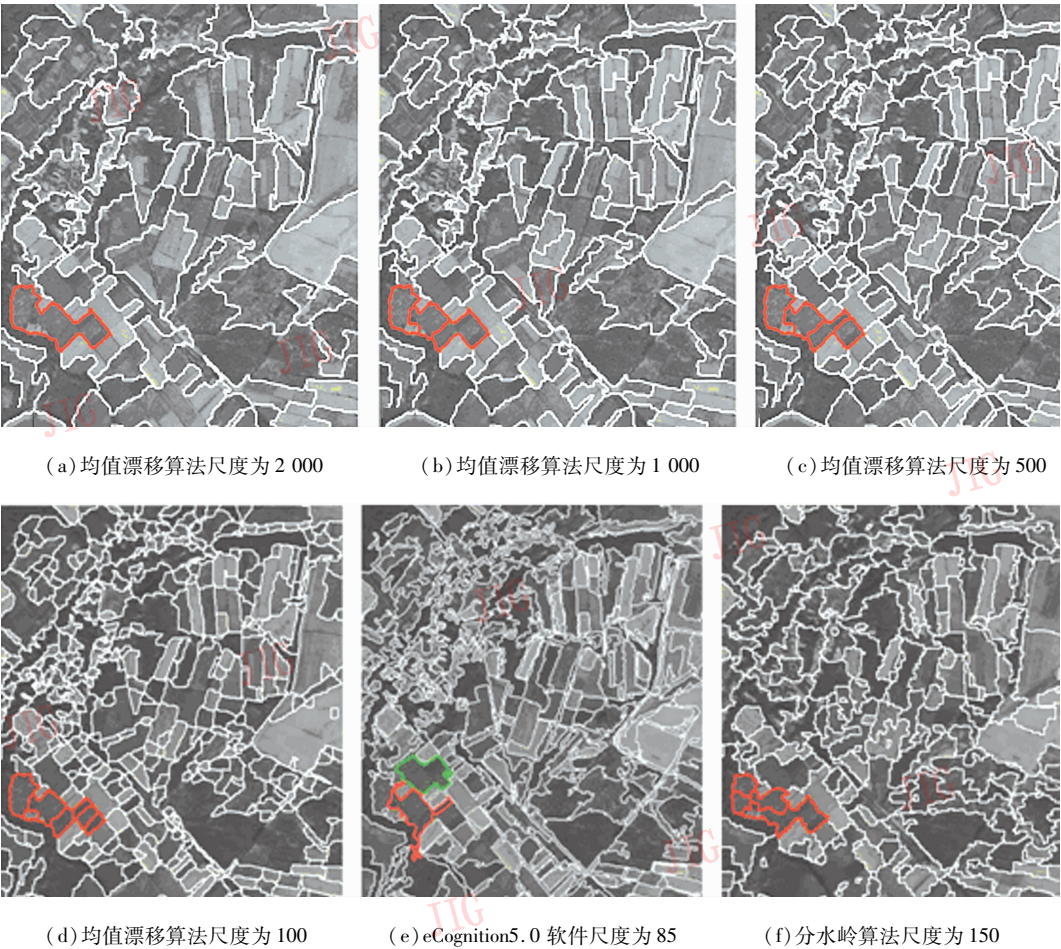


图 3 面向农林地块识别的多尺度分割效果对比图

Fig. 3 Comparison of different multi-scale segmentation algorithms for agroforestry

对比图 3 中的 6 幅图可以看出,从实际应用角度上来看,均值漂移分割算法能够从整体上保持较好的地块完整性(较小的地块破碎度),符合实际的应用需求。图 3(a)—(d)中红色所选区域对应 4 种分割尺度分别被分割成为 1、3、4、7 块地块,用户可以根据不同的需求及不同地块识别的需求而选择不同的尺度进行影像分割。

需要说明的是,图 3 中的(a)—(d)是为了比较不同尺度下的分割效果而进行的多尺度分割,(e)(f)则均是作者经过多次实验选择分割效果最好的结果。由于目前尚无统一标准对不同分割算法的效果进行衡量,在本文中我们结合实际农林地块边界提取的实际需求,对以上 6 幅图分别在过分割、欠分割、错误分割等方面与实际专业人员目视解译结果进行对比,对比精度统计如表 2 所示。

实际上,本实验中不同算法所选择的尺度大小

不具有对比性,但是从存在过分割、欠分割及错误分割的统计以及地块完整性的保持角度来看,均值漂移分割算法更能够较好地满足农林地块边界提取的需求,我们在实际应用中可以选择尺度为 500,再进一步辅助地块的分类实现 SPOT5 影像块的识别过程。

表 2 图 3 中几种分割方法精度统计表

Tab.2 Precision statistics of different segmentation algorithms in Fig. 3

单 位	过分割	欠分割	错误边界
均值漂移算法尺度 100	28	3	3
均值漂移算法尺度 500	12	4	2
均值漂移算法尺度 1 000	6	8	2
均值漂移算法尺度 2 000	3	26	2
多分辨率算法尺度 85	15	4	9
分水岭算法尺度 150	4	5	17

进一步地,对集成 MPI 及 OMP 方法的影像并行分割方法的效率进行了对比,如表 3 所示(已经考虑了数据缝合时间)。实验所采用硬件环境为 MPI 环境采用局域网内集群环境(2 台或 4 台配置相当的计算机),OMP 环境采用双核或 4 核的计算机。对分割算法的效果对比分析可知,MPI 并行计算环境及 OMP 多核并行处理均能够有效提高算法的运行效率。但从表 3 的处理耗时对比可以看出,基于 OMP 的并行环境较基于 MPI 的并行计算环境耗时少,效率提高明显,其原因主要是因为 OMP 模型依赖 CPU 的多核资源,能够有效实现不同 CPU 处理核计算能力的有效调度,而且同一 CPU

处理核的计算能力相同,而 MPI 环境由于不同计算机可能具有不同的内存开辟能力或 CPU 处理能力,从而数据处理的时间只能是 MPI 中较慢的节点处理的时间,而且其耗用时间还决定于网络速度等其他外部因素;但是 MPI 较 OMP 的一个主要优点是扩展性强,OMP 需要依赖系统构成的硬件,而 MPI 可根据实际任务进行任意扩展。集成 MPI 及 OMP 环境的原则上耗时应在中间(表 3 最后一列)。表 3 的最后一行 SPOT5 影像很大时,用常规方法则无法进行处理,因为需要开辟较大的内存空间,而通过并行环境则可对其进行处理并可较好的提高计算效率。

表 3 不同并行方法的效率数据处理耗时对比表
Tab.3 Efficiency comparison of different parallel segmentation methods

						/ms
SPOT5 真彩色图像大小	常规方法	MPI 环境		OMP 环境		MPI(2 台) + OMP (双核)
		2 台	4 台	双核	4 核	
1 300 × 1 450	51 735	28 443	16 832	26 128	13 931	16 552
2 750 × 2 810	177 323	93 983	48 115	91 323	47 832	48 224
3 200 × 3 150	—	140 102	74 340	118 832	61 832	70 056

3 结 论

基于高斯核的均值漂移分割算法具有快速递归、边界提取准确等特点,可应用于大范围的农林地块边界提取过程。本文在分析其实现原理的基础上,通过存储分割后标号数据结果,并在此基础上进行多种尺度的合并实现了其在多尺度方面的方法改进;同时对其算法密集段进行了分析,提出了基于 MPI 集群计算环境与 OMP 多核处理环境的并行均值漂移分割改进算法,算法能够全自动地完成数据划分,多处理器处理,结果收集与后处理的全过程,能够有效地提高数据处理的效率。相应地,本文提出的并行化算法改进方法亦可推广到其他类似算法的并行化改进过程,而后处理过程也可推广到其他面向对象的分割方法的后处理中。

本文的并行化算法没有考虑网络速度与流量的影响,也没有考虑 MPI 不同节点之间计算能力差异给最后结果的影像,这些问题都有待于进一步研究、分析与论证。

参考文献 (References)

[1] Zhou Chenghu, Luo Jiancheng. High-Resolution Satellite Remote Sensing Images Geo-computing [M]. Beijing: Science Publishing House, 2009: 3-8. [周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 3-8.]

[2] Zhou Chenghu, Ou Yang, Li Zengyuan. Integration and sharing of remote sensing data in China [J]. Engineering Science, 2008, 10(6): 51-55. [周成虎, 欧阳, 李增元. 我国遥感数据的集成与共享研究 [J]. 中国工程科学, 2008, 10(6): 51-55.]

[3] Ming Dongping, Luo Jiancheng, Zhou Chenghu, et al. Information extraction from high resolution remote sensing image and parcel unit extraction based on features [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2005, 20(1): 34-39. [明冬萍, 骆剑承, 周成虎, 等. 高分辨率遥感影像信息提取及块状单元特征提取 [J]. 数据采集与处理, 2005, 20(1): 34-39.]

[4] Shen Zhanfeng, Luo Jiancheng, Chen Qiuxiao, et al. Data partition policy of high-resolution remotely sensed image parallel processing [J]. Journal of Harbin institute of technology, 2006, 38(11): 1968-1972. [沈占锋, 骆剑承, 陈秋晓, 等. 高分辨率遥感影像并行处理数据分配策略研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(11): 1968-1972.]

[5] Shen Z F, Luo J C, Huang G Y, et al. Distributed computing model for processing remotely sensed images based on grid

- computing [J]. Information Sciences, 2007, 177(2): 504-518.
- [6] 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.
- [7] Chen H, Meer P. Robust regression with projection based M-estimators [C]. Nice, France; // Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France; IEEE Computer Society, 2003, 224-227.
- [8] Mukherjee D P, Levner Y P, Zhang H. Ore image segmentation by learning image and shape features [J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(6): 615-622.
- [9] Zalik K R, Zalik B. A sweep-line algorithm for spatial clustering [J]. Advances in Engineering Software, 2009, 40: 445-451.
- [10] Li Xiangru, Wu Fuchao, Hu Zhanyi. Convergence of a mean shift algorithm [J]. Journal of Software, 2005, 16(3): 365-374. [李乡儒, 吴福朝, 胡占义. 均值漂移算法的收敛性[J]. 软件学报, 2005, 16(3): 365-374.]
- [11] Cheng Y. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [12] Shen Zhanfeng, Luo Jiancheng, Hu Xiaodong, et al. A mean shift multi-scale segmentation for high-resolution remote sensing images [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 35(3): 1114-1119. [沈占锋, 骆剑承, 胡晓东, 等. 高分辨率遥感影像多尺度均值漂移分割算法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2010, 35(3): 1114-1119.]
- [13] Innocenti E, Silvani X, Muzya A. A software framework for fine grain parallelization of cellular models with OpenMP; application to fire spread [J]. Environmental Modelling & Software, 2009, 24(9): 819-831.
- [14] Hajihashemi M R, Shenawee M E. High performance computing for the level-set reconstruction algorithm [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2010, 70(6): 671-679.
- [15] Hu Xiaodong, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, et al. Data sewing algorithm for parallel segmentation of high-resolution remotely sensed image [J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14(5): 1114-1119. [胡晓东, 骆剑承, 沈占锋, 等. 高分辨率遥感影像并行分割结果缝合算法研究[J]. 遥感学报, 2010, 14(5): 1114-1119.]