

# 遥感影像的高性能并行处理技术研究

赵颖辉<sup>1,2</sup>, 蒋从锋<sup>3,4</sup>

(1. 浙江同济科技职业学院 水利工程系, 浙江 杭州 311231;

2. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098;

3. 杭州电子科技大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310018;

4. 杭州电子科技大学 云计算技术研究中心, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**随着空间遥感技术和对地观测技术的不断发展,光学、热红外和微波等不同技术手段可以获取同一地区的多种遥感影像数据(多时相、多光谱、多传感器、多平台和多分辨率等),每天获取的遥感数据量越来越大。同时,大量的遥感应用需要快速地对这些遥感数据进行处理与分析,提供辅助决策信息。因此,如果不能及时进行数据处理,这些数据就会失去时效性,甚至失去数据本身的价值。高性能计算与并行处理技术,加速了遥感影像数据处理与信息提取的进度,如大规模多处理系统、网格与云计算技术、通用图形处理器(GPGPU)等。文中综述了高性能计算、并行处理及云计算技术应用于遥感领域的最新进展,给出了一些研究与应用范例,并提出了当前高性能遥感影像处理所面临的一些挑战。

**关键词:**遥感;图像处理;高性能计算;并行处理;通用图形处理单元

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)07-0201-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.07.050

## Research on High Performance Parallel Processing Technology for Remote Sensing Images

ZHAO Ying-hui<sup>1,2</sup>, JIANG Cong-feng<sup>3,4</sup>

(1. Department of Water Resources, Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. College of Computer Science and Technology, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

4. Cloud Computing Technology Research Center, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** With the rapid developments in spatial remote sensing and earth observations, multiple approaches are used for remote sensing image acquisition, including multi-temporal, multi-spectral, various platforms and multi-scale precision based technologies. At the same time, the large amount of remote sensing application for processing and analysis of the remote sensing data, provide auxiliary decision-making information. These explosive sensed data will lose their temporal value if they can't be processed in time in many remote sensing applications. For the sake of high performance computing and parallel processing technologies, the image processing procedure is speeded by large scale multiprocessor system, grid and cloud computing platform and general purpose graphical processing units. In this paper summarize the recent advances in high performance computing, parallel processing, cloud computing technology for sensing field. Give some examples of research and application, also discuss some challenges in this research area.

**Key words:** remote sensing; image processing; high performance computing; parallel processing; GPGPU

## 0 引言

随着遥感器技术的发展,遥感用传感器的空间、时间、辐射和光谱分辨率得到进一步的提高,利用光学、

热红外和微波等不同技术手段可以获取同一地区的多种遥感影像数据(多时相、多光谱、多传感器、多平台和多分辨率等),每天获取的遥感数据量越来越大,形

收稿日期:2013-07-29

修回日期:2013-11-12

网络出版时间:2014-02-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61003077);浙江省自然科学基金项目(LY12E09009, Y1101092);浙江省水利科技计划重点项目(RB0927);浙江省水利科技计划项目(RC1218);2012年浙江省省级部门支出预算水利专项资金项目

作者简介:赵颖辉(1982-),女,博士生,讲师,研究方向为环境遥感与遥感数字图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140306.1529.002.html>

成了观测地球空间的影像金字塔<sup>[1]</sup>。同时,数据量的激增对遥感影像存储、处理、共享提出了新的挑战。随着遥感图像数据量的不断增大,传统的单机处理模式已经无法满足一些应用的时效性要求(如军事应用、灾害监测、环境污染等)。而如果不能及时进行数据处理和分析,这些数据就会失去时效性,甚至失去数据本身的价值。因此,高性能并行计算技术是提高遥感影像处理与分析速度的最有效途径之一,不但可以达到实时性的要求,而且能够提高算法的自动化程度、提高问题求解规模<sup>[2]</sup>。

随着计算机体系结构的发展,多核处理器已成为处理器主流,高性能计算集群、网格与云计算平台、通用图形处理器(GPGPU)等正成为高性能遥感处理平台的硬件基础设施。例如,美国的Thunderhead遥感应用系统,由256个双核2.4 GHz英特尔至强处理器节点组成,该系统的总峰值性能为2 457.6亿次;美国宇航局艾姆斯研究中心的哥伦比亚超级计算机,具有4 068个英特尔安腾处理器,共9 TB的内存和Infini-Band网络和10 Gbps以太网异构互连;西班牙巴塞罗那超级计算中心的MareNostrum大规模并行系统,拥有10 240个GPU,20 480 GB内存,由Myrinet网络连接,该系统也主要用于遥感应用。

目前大规模的遥感应用问题(如地球科学、空间科学与深空探测科学),往往涉及多个组织机构和部门,处理的数据往往要跨多个空间数据库,如何高效存储与传输遥感数据,对网络通信与数据传输也提出了新的挑战。文中综述了高性能计算与并行处理技术应用于遥感领域的最新进展(不包括星载应用),给出了一些范例,并提出当前面临的一些挑战。

## 1 高性能计算平台

随着CPU集成的晶体管数目越来越大,处理器发热量也越来越大,这限制了单纯通过提高处理器时钟频率来提高处理器运行速度的方法。因此,计算机体系结构的发展转向了多核/众核架构。高性能计算系统在遥感应用中的使用近年来已经变得越来越广泛,从最初的同构多处理器系统,发展到了异构多处理器系统。下面介绍几个常用的高性能计算平台。

### 1.1 集群与超级计算机

通过将一组计算机及网络硬件连接起来,安装相应的软件,使其能够进行协作完成计算工作,这些计算机即称为一个计算机集群(Cluster),它们可以被看作是一台计算机。集群系统中的单个计算机通常称为节点,通常通过高速局域网连接,但也有其他的可能连接方式。根据组成集群系统的计算机之间的体系结构是否相同,集群可分为同构集群和异构集群。

集群的规模根据组成的节点多少,从数个到数千个节点不等。节点较多的集群也往往被称作超级计算机(Supercomputer)。通过将计算任务分配到集群的不同计算节点,可以大大提高集群的计算能力。一般情况下,集群计算机具有比工作站更高的性能价格比。目前的计算机集群多运行GNU/Linux操作系统,其上安装有常用的并行计算支持软件及数学库,如MPI/PVM/OpenMP/BLAS/PBS等,并且绝大多数均是开源软件,可免费获得和使用。

### 1.2 网格与云计算平台

网格计算一个显著的优势是以更低的成本实现高品质的服务和灵活性,即通过提高硬件利用率和资源共享率,通过增加低成本组件来向外扩展、减少管理需求等途径降低成本。除了计算网格外,数据网格、仪器网格、虚拟现实网格、服务网格、信息网格、知识网格等,将网格应用扩展到方方面面。网格中的所有资源对外提供统一的访问接口,资源请求者只要按照统一的格式发出请求资源的消息,就可以使用被网格获准使用的网格资源。用户使用网格资源时,不需要知道所用资源在网格中的位置、所访问的数据的格式和存储形式,即网格对最终用户来说,是完全透明的。而为了实现资源共享,需要在接入网格的每个节点上运行一个支持网格机制的管理软件,把网络上松散的资源紧密联系起来。网格管理软件定义了一系列的标准接口,所有实体只要遵循网格定义的接口,就可以方便地接入网格,成为网格的一部分。网格管理软件的目的就是把资源连接成一个有机整体,把分散的资源协调地犹如一台计算机,如Globus Toolkit, Condor, Sun Grid Engine等。

云计算是一种基于互联网的计算方式,通过将大量用网络连接的计算资源统一管理和调度,构成一个计算资源池向用户提供按需服务,这种服务可以是计算、存储和软件、互联网等各种服务,包括基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)。相关软件与系统包括MapReduce/Hadoop、Xen Cloud Platform、OpenStack、Open Nebula等。

### 1.3 通用图形处理单元(GPGPU)

近年来,通用图形处理器(GPGPU)已经成为一种高度并行、多线程、多核心的处理器,具有巨大的运算速度和非常高的内存带宽,其处理能力远远超过了当前主要的桌面及服务器处理器。由于其并行性高、高内存带宽、很高的浮点运算速度、成本低、体积小,GPGPU已成为高性能并行遥感图像处理的一个重要选择。由于传统的GPGPU的开发都是通过图形函数库,如OpenGL或Direct3D,把非图像计算转化为图形API,因此可编程性较差。CUDA(统一计算设备架构)

是 NVIDIA 公司推出的一种 GPGPU 计算架构<sup>[3]</sup>,提供类似 C 语言的 GPGPU 程序开发环境,采用 C 编译器,用 C 语言和 CUDA 扩展库取代原先基于 GPU 的程序语言,程序员不用再把程序映射到图形 API,使程序开发更为灵活高效。当 GPU 计算程序运行时,CUDA 驱动程序会将并行数据映射、加载到 GPU 中。CUDA 程序则把要处理的数据细分成更小的区块,然后并行处理。主机端程序可以通过高速的 PCI Express 总线与 GPU 进行信息交互。数据的传输、GPU 运算功能的启动以及其他一些 CPU 和 GPU 的交互都可以通过调用运行时驱动程序中的专门操作来完成。基于 CUDA 技术可以实现图形卡内数百个芯片内处理器的通信和合作,调度成百上千个线程运行,协作解决复杂的计算问题<sup>[4]</sup>。由于具有低成本、编程简单、灵活性好等特点,CUDA 正在得到广泛的应用。

## 2 遥感并行处理范例

针对不同的高性能计算平台和遥感应用问题,人们提出了大量的遥感并行处理算法用以提高处理分析的并行性和加速比。由于大部分的遥感应用数据分析具有局部性,可通过将影像分解成为多个相对独立的子区域或子数据。分解的方法有功能分解(控制并行)和域分解(数据并行),通过处理软件主进程将一个任务及待处理的数据分派到若干个子进程上分别处理,再由主进程负责收集不同子进程的数据处理结果并进行组合,以达到多处理器共同完成某一任务的目的。在同构集群中,由于各处理器在角色上是对等的,一般的数据划分方法为数据的平均划分方法。但是,针对不同的应用问题,为了更好地适应影像信息提取的精度与速度的要求,可能对影像数据进行不平均分配。

在实际应用中,数据的划分会影响到负载的均衡以及节点之间的通信。数据的划分要考虑处理任务和并行系统的规模以及数据的局部性,因此,需要克服部分节点空闲的缺陷,以保证系统负载平衡并提高并行效率。在划分粗、细网格之后,可以根据处理节点的数目和粗网格的数量来决定数据的组织分配<sup>[5]</sup>。

下面给出了一些并行遥感处理与应用的例子。

在遥感图像镶嵌应用中,文献[6]提出了一种细粒度遥感图像镶嵌并行算法。该算法通过维护一个双缓冲队列和采用任务动态选择算法进行任务分配,减少了通讯开销和任务等待,且图像的色调均衡化和重采样都可融入到镶嵌算法中并行执行,该算法在集群系统上获得了近似线性的加速比。

校正是遥感图像处理过程中的重要环节,具有计算量大、耗时长等特点,导致遥感图像处理的效率低

下。因此,人们提出了大量的几何校正并行实现方法<sup>[7-8]</sup>。文献[7]提出了一种分布存储环境下的并行几何校正算法,每个处理器通过计算本地输入子图像在目标图像中的范围,确定其需要进行重采样计算的区域,使计算过程中所需的数据均为本地数据,很好地解决了数据局部性问题。文献[8]在对遥感影像正射纠正算法进行分析的基础上,重点对并行正射纠正算法中的数据划分和负载平衡等关键问题进行了深入研究,提出了一种适合遥感影像快速正射纠正的负载平衡并行算法。在同构集群环境下的实验结果表明,该算法能够实现集群处理节点基本的负载平衡。

在遥感图像融合方面,文献[9]针对海上遥感图像目标数量相对较少的特点,利用四叉树结构对目标区域进行划分,采用动态负载均衡的任务分配策略与并行计算思想,提出了对目标区域图像进行融合处理的集群体系任务分配算法处理模型。

遥感数字图像配准是指确定在相同或不同时间、通过相同或不同传感器拍摄的两幅或多幅图像之间最佳匹配关系的过程。数字图像配准的用途十分广泛,在遥感领域中的应用包括:数据融合,新传感器校准,变化检测,地球资源调查,地理导航,飞行器或行星探测,基于内容的搜索或目标搜索,地图更新等<sup>[5,10-14]</sup>。

文献[11]提出了点匹配和全局配准相结合的自动图像配准算法,从实现快速配准的途径出发,提出了利用多分辨率小波缩小搜索空间及进行全局配准的自动算法,设计了逐级求精的搜索策略,并比较总结了算法的特点。在此基础上,提出了两种可行的数据并行方案,并在一个小规模的集群系统上实现了其并行算法。

文献[12]提出了一种基于 CUDA 架构的快速影像匹配并行算法,它能够在 SIMT 模式下完成高性能并行计算。并行算法根据 GPU 的并行结构和硬件特点,采用执行配置技术、高速存储技术和全局存储技术三种加速技术,优化数据存储结构,提高数据访问效率。实验结果表明,并行算法充分利用 GPU 的并行处理能力,在处理 1 280×1 024 分辨率的 8 位灰度图像时可达最高多处理器 warp 占有率,速度是基于 CPU 实现的 7 倍。

文献[13]提出了一种基于互信息的遥感图像区域配准并行算法,分别给出了数据划分策略和互信息计算并行处理方案,采用边界冗余划分和二叉树归约方法减少数据通信,并对算法进行了并行化实现。

文献[14]针对 SIFT(尺度不变特征变换)算法存在的内存消耗多、运算速度慢的问题,采用金字塔和分块策略,首先对原始影像进行粗配准,然后进行分块影像匹配以实现精确配准。在匹配过程中,根据影像分

分辨率限制高斯金字塔影像的阶数,对特征点进行过滤;同时对匹配过程进行并行化,以提高算法效率。实验表明,改进算法在保证配准精度稳定的前提下,解决了原算法对内存要求高的问题,效率比原算法显著提高。

文献[15]提出了一种利用共享虚拟存储(SVM)的并行普通集群作为遥感数据分布式服务系统的后台服务器方法,分析了在这种服务体系下多源遥感数据的组织和存储,提出了塔、块、层、相的立体索引机制,设计了服务器端的并行处理程序。

MPI 是基于集群方式应用较多的一种并行计算环境,它在同一操作系统下的并行处理过程具有效率高、自动化程度好、稳定性好等特点。文献[16]研究了遥感影像并行处理数据划分方法及传输过程,采用基于不同尺度下的面向特征基元的影像分析方法对高分辨率遥感影像进行基于 MPI 的处理,即在对常规的影像数据划分方法进行总结分析的基础上,提出了基于特定环境下的非均匀数据划分策略;在进行基于影像数据库的 MPI 并行处理时,提出了一种新的数据流分配方法。

为了满足 JPEG2000 遥感图像实时压缩设备的实时性要求,文献[17]提出了一种基于并行机制的零时间数据搬移策略。该策略通过对 EBC 算法结构进行拆分,采用 EDMA 方式进行数据搬移,使得算法运算与数据搬移过程完全并行,搬移时间等效为零。

文献[18]提出了一个采用云计算模型实现的高性能、高可扩展性、高可用的遥感处理服务原型系统,详细阐述了该处理系统的组成与关键技术。

文献[19]实现了光谱角匹配(SAM)算法的 GPU 并行化。

多尺度影像分割是实现从数据到信息的对象化提取的过渡环节和关键步骤,是高分辨率遥感影像信息提取与目标识别的前提和基础。在分割算法方面,分水岭分割算法、均值漂移分割算法等被应用得较多,其中均值漂移是一种有效的统计迭代算法,并且证明具有较好的算法收敛性,广泛应用于聚类分析、跟踪、图像分割、图像平滑、滤波、图像边缘提取和信息融合等方面。

文献[20]采用遥感影像数据的均值漂移算法的并行化实现来解决均值漂移不能处理过大影像、处理速度过慢等问题,通过分析均值漂移算法的原理,提出了一种新的数据“缓冲区”式分块方法,并进而分别对不同的数据块进行并行分割,从而消除了该算法对数据量的限制,有效避免计算机在处理过大影像时产生的内存不足问题,并从效率角度对算法进行了改进。文献[21]基于数据并行的遥感影像分割实现过程,提出了一种新的数据缝合算法解决分割结果合并问题。

分割效果对比和运算效率分析等实验结果表明,此算法保持了分割结果合并后的边界正确性,使并行化分割在提高运算效率的同时保证了分割结果的可信度。

文献[22]针对现有的 OpenMP 和直接的线程并行法难以对遥感影像处理链进行加速的问题,引入流水线概念对复杂的功能链进行并行加速,提出了基于流水线技术的遥感影像并行处理方法,并进行了实验验证。

文献[23]提出了利用常系数线性预测方法的高光谱图像处理的 GPU 实现。文献[24-25]提出了从远程遥感光谱数据集中提取纯光谱特征的自动变形算法 GPU 实现。文献[26]中,像素纯度指数高光谱端元提取和混合像元分解算法的 GPU 实现达到了 15 倍的加速比。

### 3 结束语

文中讨论了高性能计算与并行处理技术在遥感系统中的应用。由于具体的遥感应用类型不同,因此,需要不同类型体系结构的计算系统,如计算机集群、GPU 集群或异构集群等。例如,基于集群的并行计算平台适合于从非常大的归档数据提取高效信息,包括传输到地球的数据集。

目前,大规模遥感影像处理仍然面临着下述挑战:

1) 问题规模与处理能力的矛盾。目前大尺度的空间遥感应用分析往往需要处理海量数据,并要求极高的实时性,如自然灾害(如地震)、突发事件、环境污染及军事应用等。由于常规的高性能计算平台的任务调度特点及目前超级计算系统计算能力的限制,遥感影像处理的数据规模还有一定限制。因此,在研发计算能力更加强大的超级计算机的同时,应用网格计算与云计算技术及高效的并行数据存储与调度算法也是提高处理能力的重要手段。

2) 泛在的数据访问与信息安全及隐私的矛盾。目前的大型遥感应用需处理的数据可能跨不同的管理域的多个数据中心。由于数据集是由不同的机构所拥有,可能有不同的身份验证、授权和数据访问控制,因此,统一的身份管理系统必不可少(如角色授权、认证),以提供单点登录功能。拥有访问的便捷性同时也带来了信息安全和隐私的矛盾。基于角色的授权可以在用户身份和虚拟组织中的作用的基础上进行管理,通过指定证书颁发机构和信任托管,防止授权的滥用,在系统的性能、可用性和安全性之间获得平衡。

#### 参考文献:

- [1] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 第 2 版. 武汉:武汉大学出版社, 2009.

- [2] Ino F, Ooyama K, Hagihara O. A data distributed parallel algorithm for non-rigid image registration [J]. *Parallel Computing*, 2005, 31(1): 19-43.
- [3] Nvidia CUDA [EB/OL]. 2010. [http://www.nvidia.com/object/cuda\\_home.html](http://www.nvidia.com/object/cuda_home.html).
- [4] 张舒, 褚艳利. GPU 高性能运算之 CUDA [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [5] 郑明玲, 刘衡竹. 遥感图像配准中特征点选择的高性能算法研究及其实现 [J]. *计算机学报*, 2004, 27(9): 1284-1289.
- [6] 安兴华, 王小鸽, 都志辉, 等. 一种适用于机群系统的细粒度遥感图像镶嵌并行算法 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2002, 42(10): 1389-1392.
- [7] 蒋艳凤, 杨学军, 易会战. 卫星遥感图像并行几何校正算法研究 [J]. *计算机学报*, 2004, 27(7): 944-951.
- [8] 李盛阳, 张爱军, 朱重光, 等. 基于网格的遥感图像快速处理 [J]. *计算机工程*, 2007, 33(6): 35-37.
- [9] 李先涛, 曾志, 张丰, 等. 基于集群的海洋遥感图像融合并行计算策略 [J]. *计算机应用与软件*, 2012, 29(1): 84-87.
- [10] 卢俊, 张保明, 黄薇, 等. 基于 GPU 的遥感影像数据融合 IHS 变换算法 [J]. *计算机工程*, 2009, 35(7): 261-263.
- [11] 周海芳, 唐宇, 何凯涛, 等. 基于小波的遥感图像全局配准算法研究及其并行实现 [J]. *自动化学报*, 2004, 30(6): 880-889.
- [12] 肖汉, 张祖勋. 基于 GPGPU 的并行影像匹配算法 [J]. *测绘学报*, 2010, 39(1): 46-51.
- [13] 周海芳, 杜云飞, 杨学军, 等. 基于互信息的遥感图像区域配准并行算法的研究与实现 [J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(1): 174-180.
- [14] 朱志文, 沈占锋, 骆剑承. 改进 SIFT 点特征的并行遥感影像配准 [J]. *遥感学报*, 2011, 15(5): 1024-1039.
- [15] 吴洪桥, 池天河, 方金云, 等. 基于 SVM 的遥感数据并行服务体系研究 [J]. *南京理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 28(4): 350-355.
- [16] 沈占锋, 骆剑承, 陈秋晓, 等. 基于 MPI 的遥感影像高效能并行处理方法研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(12): 2132-2136.
- [17] 杜列波, 肖学敏, 罗武胜, 等. JPEG2000 遥感图像实时压缩系统中基于并行机制的零时间数据搬移策略 [J]. *国防科技大学学报*, 2008, 30(4): 88-93.
- [18] 刘异, 冯维, 江万寿, 等. 一种基于云计算模型的遥感处理服务模式研究与实现 [J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(9): 3428-3431.
- [19] 杨靖宇, 张永生, 董广军. 基于 GPU 的遥感影像 SAM 分类算法并行化研究 [J]. *测绘科学*, 2010, 35(3): 9-11.
- [20] 沈占锋, 骆剑承, 吴炜, 等. 遥感影像均值漂移分割算法的并行化实现 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, 42(5): 811-815.
- [21] 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 [J]. *遥感学报*, 2010, 14(5): 917-927.
- [22] 翟晓芳, 龚健雅, 肖志峰, 等. 利用流水线技术的遥感影像并行处理 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2011, 36(12): 1430-1433.
- [23] Mielikainen J, Honkanen R, Huang B, et al. Constant coefficients linear prediction for lossless compression of ultra-spectral sounder data using a graphics processing unit [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2010, 4(1): 041774.
- [24] Setoain J, Prieto M, Tenllado C, et al. GPU for parallel on-board hyper-spectral image processing [J]. *International Journal of High Performance Computing Applications*, 2008, 22(4): 424-437.
- [25] Setoain J, Prieto M, Tenllado C, et al. Parallel morphological end-member extraction using commodity graphics hardware [J]. *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters*, 2007, 4(3): 441-445.
- [26] Plaza A, Plaza J, Vegas H. Improving the performance of hyperspectral image and signal processing algorithms using parallel, distributed and specialized hardware-based systems [J]. *Journal of Signal Processing System*, 2010, 61: 293-315.

(上接第 135 页)

- 界的定位方法 [J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(6): 605-609.
- [4] Marcia B K. Illustration of iridology [M]. [s. l.]: Iridology Asia Association, 2003.
- [5] 何家峰, 叶虎年, 叶妙元. 计算机辅助虹膜诊断系统 [J]. *中国生物医学工程学报*, 2004, 23(5): 472-474.
- [6] 何家峰, 叶虎年. 多任务虹膜诊断专家系统的研究 [J]. *华中理工大学学报*, 1999, 27(9): 76-80.
- [7] Iridology: the natural diagnostic method [EB/OL]. 2009. <http://www.iridology.gr/indexen.html>.
- [8] Constitutions & iris analysis report [R/OL]. 2009. <http://www.iridologyworks.com/html/constitutions.htm>.
- [9] The basic steps to iridology analysis [EB/OL]. 2009. <http://www.iridologyworks.com>.
- [10] Iris search pro 2000 [EB/OL]. 2009. <http://www.iridologyworks.com/html/irisearch2000.htm>.
- [11] Barrett S. Iridology is nonsense [EB/OL]. 2009. <http://www.quackwatch.org/01QuackeryRelatedTopics/iridology.html>.
- [12] Canadian journal of the science and practice of iridology and preventive health care [J/OL]. 2009. <http://www.news2news.com/iridology/>.
- [13] 黄惠芳, 胡广书. 虹膜识别算法的研究及实现 [J]. *红外与激光工程*, 2002, 31(5): 404-409.
- [14] 辛国栋, 王巍. 计算机辅助虹膜诊断中特征提取方法研究 [J]. *计算机工程与设计*, 2006, 27(18): 3322-3323.

作者: 赵颖辉, 蒋从锋, ZHAO Ying-hui, JIANG Cong-feng  
作者单位: 赵颖辉, ZHAO Ying-hui (浙江同济科技职业学院 水利工程系, 浙江 杭州 311231; 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098), 蒋从锋, JIANG Cong-feng (杭州电子科技大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310018; 杭州电子科技大学 云计算技术研究中心, 浙江 杭州 310018)  
刊名: 计算机技术与发展 **ISTIC**  
英文刊名: Computer Technology and Development  
年, 卷(期): 2014(7)

## 参考文献(26条)

1. 孙家柄 遥感原理与应用 2009
2. Ino F;Ooyama K;Hagihara O A data distributed parallel algo-rithm for non-rigid image registration 2005(01)
3. Nvidia CUDA 2010
4. 张舒;褚艳利 GPU高性能运算之CUDA 2009
5. 郑明玲;刘衡竹 遥感图像配准中特征点选择的高性能算法研究及其实现 2004(09)
6. 安兴华;王小鸽;都志辉 一种适用于机群系统的细粒度遥感图像镶嵌并行算法 2002(10)
7. 蒋艳凰;杨学军;易会战 卫星遥感图像并行几何校正算法研究 2004(07)
8. 李盛阳;张爱军;朱重光 基于网格的遥感图像快速处理 2007(06)
9. 李先涛;曾志;张丰 基于集群的海洋遥感图像融合并行计算策略 2012(01)
10. 卢俊;张保明;黄薇 基于 GPU 的遥感影像数据融合IHS 变换算法 2009(07)
11. 周海芳;唐宇;何凯涛 基于小波的遥感图像全局配准算法研究及其并行实现 2004(06)
12. 肖汉;张祖勋 基于GPGPU的并行影像匹配算法 2010(01)
13. 周海芳;杜云飞;杨学军 基于互信息的遥感图像区域配准并行算法的研究与实现 2010(01)
14. 朱志文;沈占锋;骆剑承 改进SIFT点特征的并行遥感影像配准 2011(05)
15. 吴洪桥;池天河;方金云 基于SVM 的遥感数据并行服务体系研究 2004(04)
16. 沈占锋;骆剑承;陈秋晓 基于MPI的遥感影像高效能并行处理方法研究 2007(12)
17. 杜列波;肖学敏;罗武胜 JPEG2000 遥感图像实时压缩系统中基于并行机制的零时间数据搬移策略 2008(04)
18. 刘异;芮维;江万寿 一种基于云计算模型的遥感处理服务模式研究与实现 2009(09)
19. 杨靖宇;张永生;董广军 基于GPU的遥感影像SAM分类算法并行化研究 2010(03)
20. 沈占锋;骆剑承;吴炜 遥感影像均值漂移分割算法的并行化实现 2010(05)
21. 胡晓东;骆剑承;沈占锋 高分辨率遥感影像并行分割结果缝合算法 2010(05)
22. 翟晓芳;龚健雅;肖志峰 利用流水线技术的遥感影像并行处理 2011(12)
23. Mielikainen J;Honkanen R;Huang B Constant coeffi-cients linear prediction for lossless compression of ultra-spec-tral sounder data using a graphics processing unit 2010(01)
24. Setoain J;Prieto M;Tenllado C GPU for parallel on-board hyper-spectral image processing 2008(04)
25. Setoain J;Prieto M;Tenllado C Parallel morphological end-member extraction using commodity graphics hardware 2007(03)
26. Plaza A;Plaza J;Vegas H Improving the performance of hy-perspectral image and signal processing algorithms using par-allel, distributed and specialized hardware-based systems 2010

引用本文格式：[赵颖辉, 蒋从锋, ZHAO Ying-hui, JIANG Cong-feng](#) [遥感影像的高性能并行处理技术研究](#)[期刊论文]  
-[计算机技术与发展](#) 2014(7)