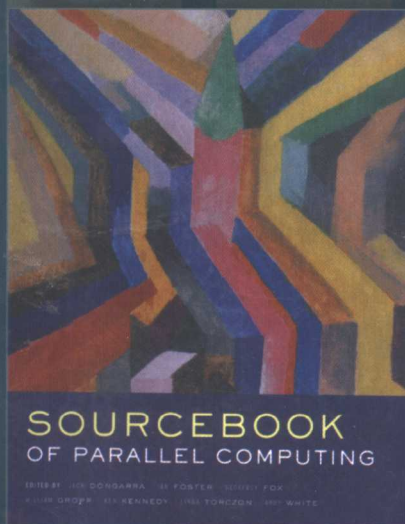


国外计算机科学教材系列

并行计算综论

Sourcebook of Parallel Computing



[美] Jack Dongarra
Geoffrey Fox
Ken Kennedy
Andy White

Ian Foster
William Gropp
Linda Torczon

编著

莫则尧 陈军 曹小林 等译
李晓梅 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

并行计算综论

Sourcebook of Parallel Computing

Jack Dongarra

Ian Foster

Geoffrey Fox

[美] William Gropp 编著

Ken Kennedy

Linda Torczon

Andy White

莫则尧 陈 军 曹小林 等译

李晓梅 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

这是一本全面介绍近年来并行计算研究进展的著作,主要按照并行性、并行应用、软件技术以及关键技术和算法等方面展开讨论。关于并行性,主要概述了并行计算的各个方面并介绍其所依赖的软、硬件平台;关于并行应用,主要介绍了并行计算在计算流体力学、环境与能源、计算化学,以及其他十几个典型数值和非数值计算领域中的应用;关于软件技术,主要介绍了并行计算的软件基础,包括消息传递和线程、并行I/O、编程语言与编译器、面向对象的并行库、问题求解环境、性能调整与程序调试工具等;关于关键技术和算法,主要介绍了在大量应用领域广泛使用的并行计算技术和并行算法,包括可重用软件与算法、高性能科学模拟中的图剖分问题、网格剖分、模板与数值线性代数、PDE可扩展求解软件、并行连续优化、科学计算路径追踪和自动微分等。本书还列出了近年来与并行计算相关的上千篇参考文献。

本书是一本综合性很强的并行计算专著,可供对并行计算感兴趣的高等院校、研究所、工业和商业部门等各应用领域研究和工程技术人员参考。

Authorized translation from the English language edition published by Elsevier Science(USA). Copyright © 2003 by Elsevier Science(USA).

Translation Copyright © 2005 by Publishing House of Electronics Industry.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

本书中文简体字专有翻译出版版权由Elsevier Science(USA)授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-2050

图书在版编目(CIP)数据

并行计算综论/(美)多加拉(Dongarra, J.)等编著;莫则尧等译.-北京:电子工业出版社,2005.5
(国外计算机科学教材系列)

书名原文:Sourcebook of Parallel Computing

ISBN 7-121-00638-3

I. 并... II. ①多... ②莫... III. 并行算法-教材 IV. TP301.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第037357号

责任编辑:冯小贝

特约编辑:马爱文

印刷:北京李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

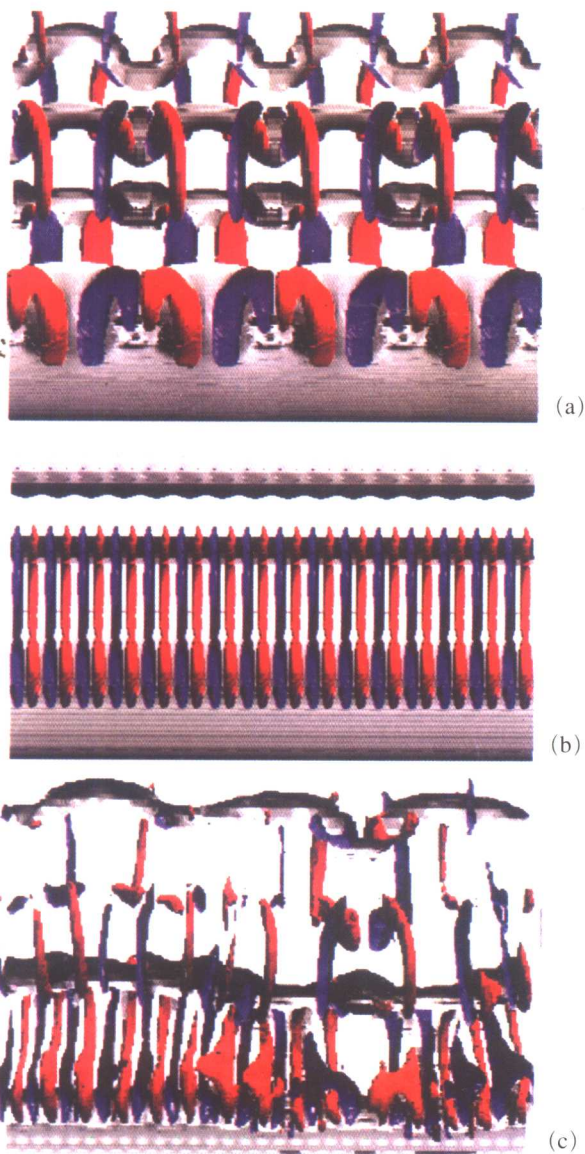
经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:36.5 字数:934千字 彩插:2

印次:2005年5月第1次印刷

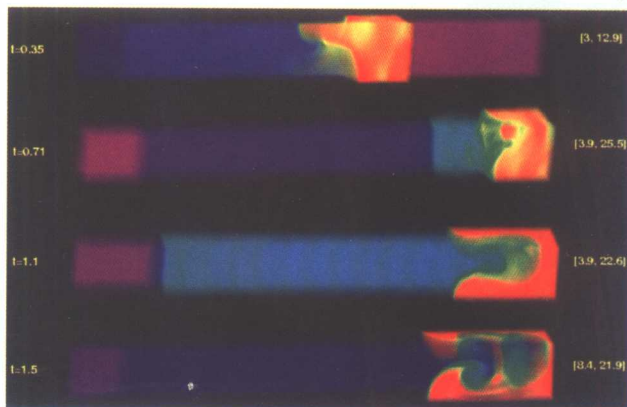
定价:68.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。



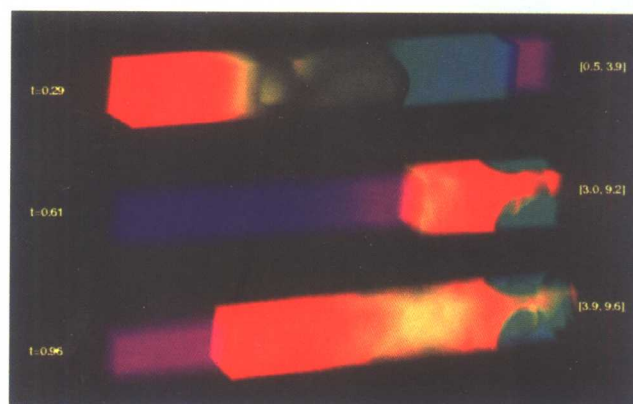
彩图 1

圆柱体尾迹中的次级不稳定性产生的三维漩流数据场可视化图 (参阅文献[457])。(a) $Re=195$; (b) $Re=265$; (c) $Re=265$



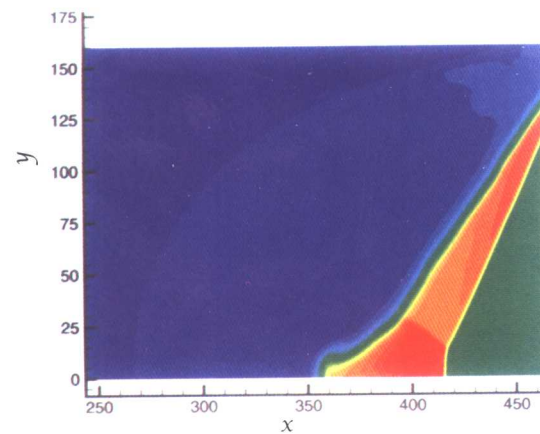
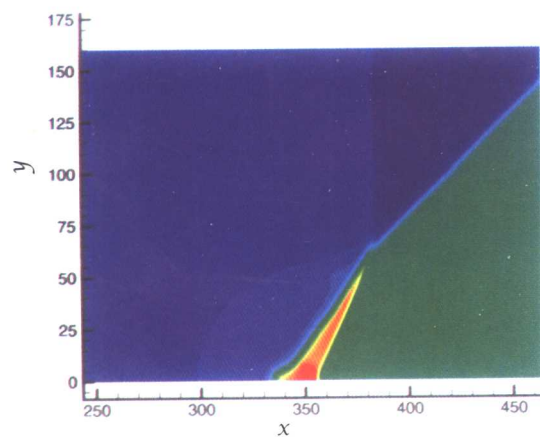
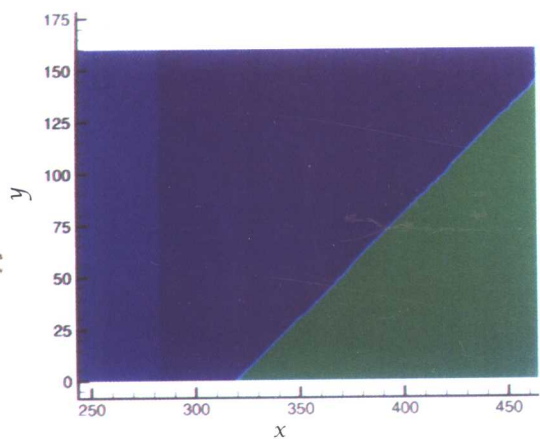
彩图 2

不同时刻的 Richtmyer-Meshkov 不稳定性密度场体绘制图像组。Atwood 数为 $At=0.5$, 随着密度的增长, 图像的颜色从紫蓝变化到红色。每幅图像的右边用括号标出颜色变化对应的最大密度值和最小密度值。初始扰动振幅与波长之比为 0.109。激波的马赫数为 $M_s=10$



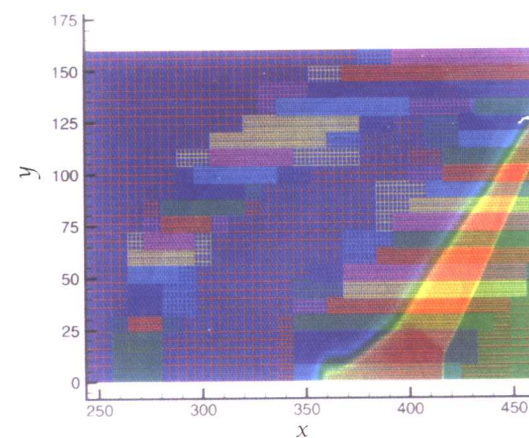
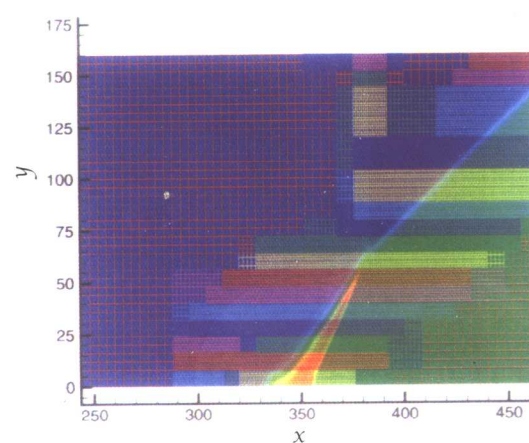
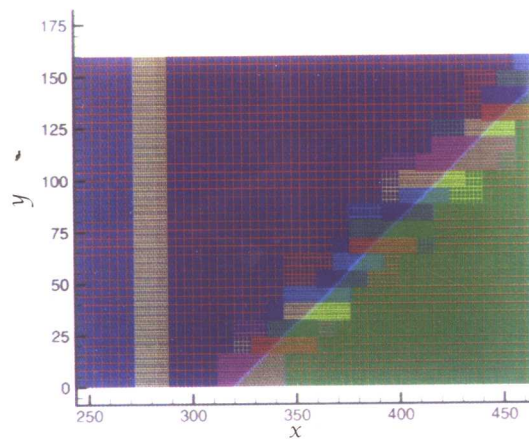
彩图 3

不同时刻的 Richtmyer-Meshkov 不稳定性密度场体绘制图像组。Atwood 数为 $At=-0.33$, 随着密度的增长, 图像的颜色从紫蓝变化到红色。每个图像的右边用括号标出颜色变化对应的最大密度值和最小密度值。初始扰动振幅与波长之比为 0.109。激波的马赫数为 $M_s=10$



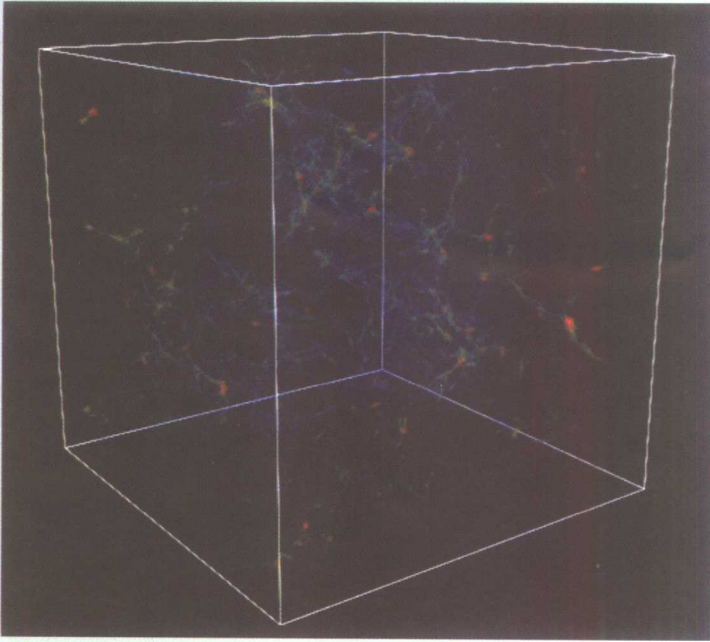
彩图 4

并行 AMR 软件计算出的激波与界面相互作用的结果示意图



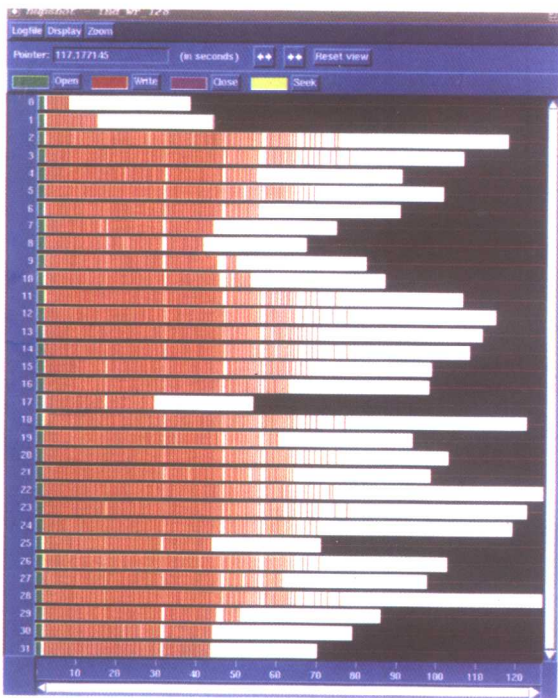
彩图 5

在并行 AMR 软件计算激波与界面相互作用的过程中所使用的动态网格结构



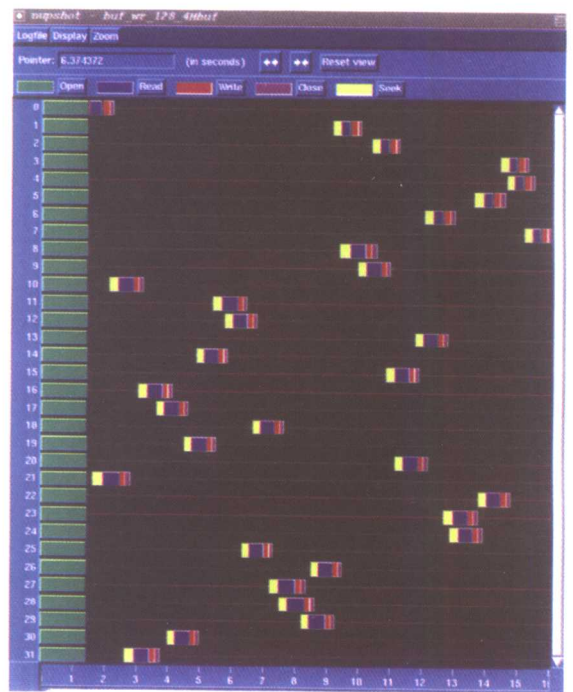
彩图 6

大型宇宙结构的 Kronos 模拟，这里显示的是在一个边长为五亿光年的立方体中的气体密度分布图



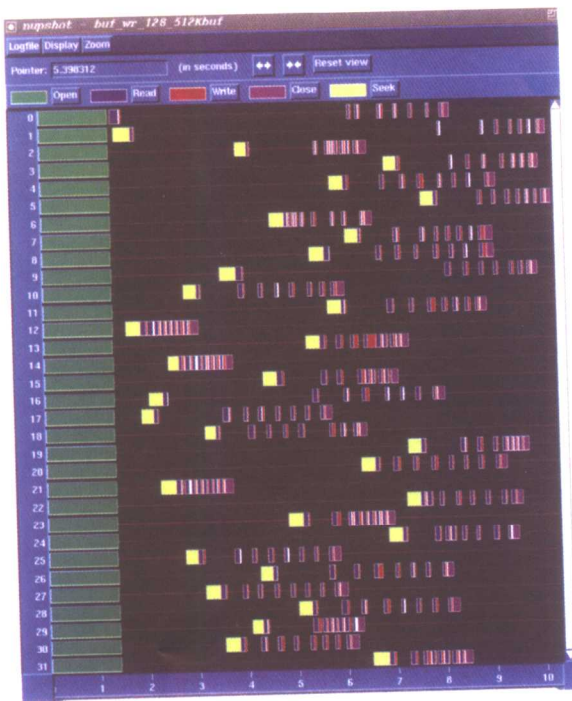
彩图 7

在 Intel Paragon 上使用 0 级 I/O 请求 (与 UNIX 风格无关的写操作) 来写一个 $128 \times 128 \times 128$ 的分布数组, 花费的时间为 125 s



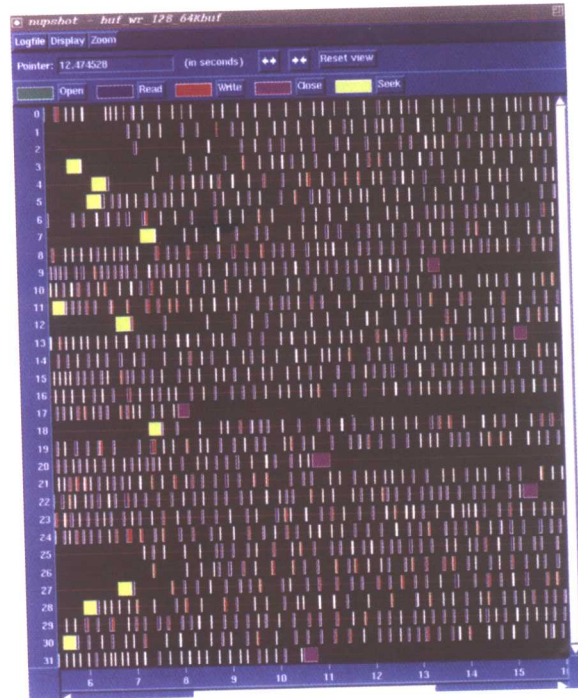
彩图 8

在 Intel Paragon 上使用 2 级 I/O 请求来写一个 $128 \times 128 \times 128$ 的分布数组, 其中用于数据筛选的缓冲区大小为 4 MB, 花费的时间为 16 s



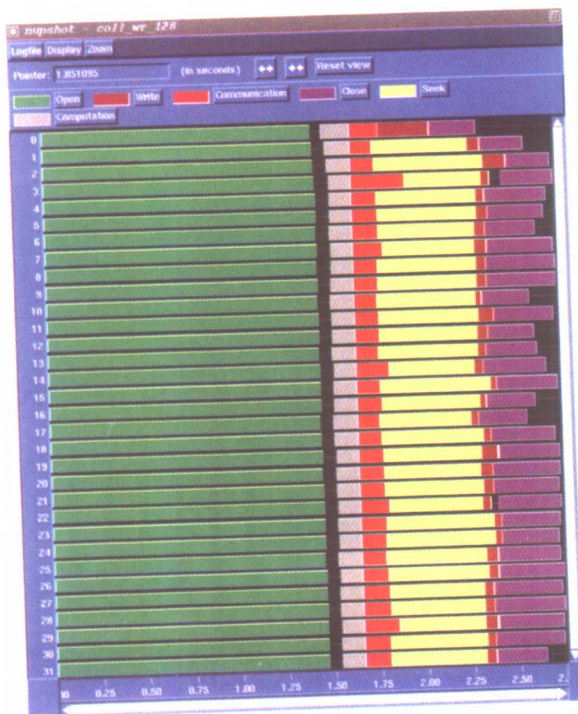
彩图 9

在Intel Paragon上使用2级I/O请求来写一个 128×128 的分布数组，其中用于数据筛选的缓冲区大小为512 KB，花费的时间为10.5 s



彩图 10

在Intel Paragon上使用2级I/O请求来写一个 128×128 的分布数组，其中用于数据筛选的缓冲区大小为64 KB，花费的时间为20 s



彩图 11

在Intel Paragon上使用3级I/O请求来写一个 $128 \times 128 \times 128$ 的分布数组，花费的时间为2.75 s

出版说明

21世纪初的5至10年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入WTO后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流IT人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如Pearson Education培生教育集团、麦格劳-希尔教育集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔特(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过与作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委 员	王 珊	中国人民大学信息学院院长、教授
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授 中国计算机学会多媒体专业委员会主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

译者序

10 多年前,在大规模并行计算机,尤其是分布式存储并行计算机上,如何开发高效可移植的并行算法和并行应用程序,曾经是困扰科学与工程计算应用部门的一个最大难题,也束缚了高性能并行计算在国内的普及推广应用。如今,随着高性能并行机的日益普及,尤其是低价格高性能比的微机机群的推广应用,以及并行编程标准,尤其是消息传递 MPI 和共享存储 OpenMP 的统一,高性能并行计算已经成为加速我国科学与工程应用数值模拟的一种关键支撑技术,是从事科学与工程计算专业的研究人员或者学生想学习的一门基础课程。特别是近几年以来,我国在对计算需求较大的应用部门、研究所和大学以及许多大城市中,相继成立了高性能计算中心,配备了每秒峰值超过万亿次浮点运算,包含上千个处理器的大规模高性能并行机。国家 863 计划也启动了国家高性能计算网格环境,希望共享各个高性能计算中心的资源,加速提高我国的数值模拟水平。应该说,目前我国高性能并行计算硬件平台已经比较先进,开展高性能并行计算研究的条件已经非常成熟。

自从并行计算机在我国诞生并应用以来,我国关键应用部门、大学、研究所和工业部门就已经对并行计算进行了长期的研究。但是,从总体水平上,尤其是并行应用软件的开发水平上,我国还远远落后于美国等国家,这一差距比计算机硬件落后的差距大得多。如何在现有高性能并行计算机硬件平台和软件支撑环境上,结合各个应用部门的具体应用和数值方法的特点,通过移植、改进和设计高效的并行算法,将现有的大量应用程序移植到高性能可扩展并行机上运行,甚至直接重新设计高效的并行应用软件,并开发相应的辅助软件工具,以简化并行应用程序的开发,缩短软件开发周期,提高软件的计算效率,将是从事并行科学与工程计算研究的人员必须面对的一个关键问题。只有解决了这个问题,才能真正用好大规模并行计算机,缩短我国与国外的应用差距。

因此,为了达到以上目的,我们在做好并行计算的普及推广工作的同时,希望能尽快学习国外并行应用软件开发先进经验,加速提高我们的研制能力。可喜的是,该书全面总结了美国国家科学基金并行计算研究中心近 10 多年来在并行计算研究和并行应用程序开发方面所做的工作,正好可用于填补我国在这方面的不足,值得我们学习和借鉴。

该书是一本全面介绍近 10 多年来并行计算研究进展的著作,内容涵盖了高性能并行计算研究和应用的各个方面,包括并行计算研究依赖的并行机硬件平台、并行应用开发、并行编程软件技术、并行计算关键技术和算法等。该书的作者是多位长期从事高性能并行计算研究的国际知名并行计算专家,其中包括 Jack Dongarra, Ian Foster, Geoffrey Fox, William Gropp 等,他们长期领导着国际并行计算的前沿工作。因此,该书也是对他们多年来工作的一个系统总结,是一本难得的既有学术水平,又有实际应用价值的综合性书籍。同时,该书也注意到它的参考价值,列出了近年来涉及并行计算研究的上千篇文献,这对我们无疑是非常有用的。

鉴于以上原因,我们组织了该书的翻译工作。为了保证该书的翻译质量,在莫则尧研究员的组织下,具体分为 3 个小组,分别由莫则尧研究员、陈军和曹小林副研究员负责。其中,陈军负责第一部分和第二部分,翻译了第 1 章、第 3 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章和第 16 章,罗红兵翻译了第 12 章、第 13 章和第 14 章,张晓霞翻译了第 2 章和第 15 章;莫则尧负责第三部分,翻

译了第 8 章(其中,陈虹翻译了 8.7 节),张爱清翻译了第 4 章、第 6 章和第 7 章,左风丽翻译了第 5 章;曹小林负责第四部分和第五部分,翻译了第 22 章到第 25 章,廖丽翻译了第 17 章、第 19 章和第 21 章,徐小文翻译了第 20 章,金光浩翻译了第 18 章。译稿完成后,为了确保翻译质量,我们首先在组内相互阅读译稿并校对,然后在组间相互阅读译稿并校对,接下来由莫则尧和陈军阅读全书译稿,以确保译文前后的一致性,最后由李晓梅教授负责审校全书译稿。

感谢北京应用物理与计算数学研究所高性能计算中心提供的良好条件,使本书的翻译得以顺利完成。感谢北京应用物理与计算数学研究所张宝琳研究员和中科院计算数学研究所张林波研究员关于翻译的一些有益讨论。

由于译者水平有限,如果有不确切或错误之处,望读者不吝赐教。

前 言

并行计算研究中心(CRPC: Center for Research on Parallel Computation)是美国国家科学基金(NSF: National Science Foundation)资助的科学和技术中心。并行计算研究中心自成立以来,一直致力于并行计算研究和技术开发,并使并行计算“真正有用”。其间,通过移植、改进和设计新的高效算法,已经将一大批现有应用程序移植到可扩展并行机上运行,并开发了大量相应的辅助工具软件。所有这些工作源自 CRPC 内部和业界广泛的应用需求。尽管这些策略和工具已被并行应用专业开发人员所熟悉,但据我们所知,目前还没有相关资料为新涉足该领域的人详细介绍这些内容。为此,本书意图填补这项空白,将详细介绍这些应用以及移植它们所使用的技术。

本书旨在帮助新涉足并行计算领域的人员尽快了解如何使用这些技术。本书也适合从事计算科学的学生和研究人员了解与掌握高性能并行计算中的基础理论和实际技能。这里,我们假设读者已经较好地了解了应用科学或计算科学,但缺少并行计算的基础知识,因此本书包括了大量教学资料。

同时,我们希望本书成为从事并行应用程序开发的人员的一本实用参考书,为此书中深入剖析了并行计算中有用的特殊技术和方法。如果读者希望粗略了解这些方法,可以阅读每个部分开头的应用概述或技术概述章节。

希望读者能从我们过去 15 年的积累中获取一些有用的经验,避免再犯与我们在获取这些经验时所犯的同样错误。

本书的内容

本书由五个部分组成。

第一部分 并行性

这个部分介绍了并行计算及其所依赖的软、硬件环境。其中,分别概述了并行计算的各个方面,深入阐述了现代并行机体系结构,讨论了并行编程必须考虑的一些问题。

第二部分 并行应用

这个部分帮助初级开发人员理解如何将高性能计算应用到大量特定领域,注重于如何选择合适的软件和算法及其具体实现。其中,分别讨论了计算流体力学、环境与能源、计算化学等领域的应用与实现,并用单独的一章(给出了 11 幅彩图)介绍了并行计算在其他领域的成功应用。这些内容涵盖了广泛的科学领域和数值方法。后续章节将再次引用这些应用,并将深入讨论并行应用开发所需的软件技术和算法。

第三部分 各种软件技术

这个部分介绍了并行应用开发过程中用到的一些软件技术的进展,包括消息传递库、用于并行计算的运行时库(例如 HPC++ 类库,类似 HPF 的语言,Co-Array FORTRAN,和 HPC++)、类似 poblo 的性能分析与调整工具以及高级程序设计系统等。这个部分的目的是为读者选择正确的并行计算技术提供指导信息。

第四部分 关键技术与算法

这个部分讨论了大量科学与工程应用问题数值模拟计算中广泛使用的并行数值算法,包

括线性代数、连续和离散最优化等。其中,每一章针对不同算法进行了深入讨论,主要为应用开发人员在寻求不同问题的最佳算法的过程中提供可用的资源。

第五部分 结论

这个部分总结了上述内容,并讨论了高性能科学与工程计算业界将要面临的重要问题,包括网络环境下的分布式计算。

本书的使用方式

读者可以从以下几个方面来使用本书。新涉足并行计算领域的人员可以先阅读第一部分的所有章节,然后阅读第4章、第9章、第16章、第17章和第25章。第4章、第9章和第17章分别概要介绍了第二部分、第三部分和第四部分的内容,为那些对其中某些内容感兴趣的读者指明了需要进一步阅读的章节。

如果读者是特定领域的开发人员,想了解对自己有所帮助的技术,可以从第二部分开始阅读。这个部分介绍了大量的应用和并行技术。如果读者找到了与自己正在研究的领域相似的应用,可以通过交叉参考第三部分和第四部分中的内容,找到有用的策略和技术。

最后,并行计算专家可以将本书作为参考文献。每个部分的引言为该部分的其他内容提供了指导信息。

本书也可以作为系统用户的一本指南,这些系统包括从小型桌面对称多处理机和PC机群,到价值上亿美元甚至更昂贵的高端超级计算机。本书主要介绍软件技术以及使用这些技术的大规模应用程序。在每个议题中,首先一般性地讨论了该领域的状况,然后详细描述了其中的关键技术或方法。在某些议题中,例如消息传递编程,直接采用消息传递界面来展开讨论;在其他议题中,例如问题求解环境,我们选择了具有代表性的系统来阐述其中的概念。

致谢

本书汲取了自CRPC成立以来高性能并行计算界所取得的研究进展。CRPC是美国国家科学基金资助的科学和技术中心,包括了莱斯大学,加利福尼亚技术研究所,美国Argonne国家实验室,美国Los Alamos国家实验室,Syracuse大学,田纳西大学Knoxville分校和得克萨斯大学奥斯汀分校的相关人员。美国国家科学基金的资助使本书得以问世。本书中的研究工作得到了美国国家科学基金,美国能源部,美国国防部(特别是国防先进研究项目机构)和美国航空航天局的赞助,另外还得到了CRPC所属研究所、每章作者所在的研究机构的赞助。在美国国家科学基金资助结束后,莱斯大学提供了基金资助,这项基金用于为本书的完成偿付技术支持费用。

我们也非常感谢那些帮助我们完成本书的人们。Teresa Parks利用他的编辑与技术技巧修正了原始手稿。Sarah Gonzales提供了技术支持以及出版用的图形。Gail Pieper校对了其中一些章节。在我们使用LaTeX的过程中得到Keith Cooper的指导和建议。Ellen Butler和Shiliang Chang汇编了本书的目录。Penny Anderson为本书的出版做了大量工作,包括汇集作者的简介,并收集版权表格,以及获取关于使用带版权资料的许可权。Ellen Butler, Kathryn O'Brien, Penny Anderson和Theresa Chatman组织了会议和远程电信会议、处理信件、管理邮件列表,并在别人需要帮助时慷慨相助。我们非常感谢他们,没有他们的努力,这本书将难以出版。

另外,我们还要感谢Denise Penrose。他是Morgan Kaufmann出版社专门负责本书的编辑,

他在手稿准备方面提出了有用的建议,并为我们的手稿组织了单独的评论文章,这对我们非常有用。Emilia Thiuri 为即将出版的最后手稿提供了编辑支持并提出了宝贵意见。制作编辑 Howard Severson 使本书的出版得以紧凑地进行,并在此期间始终保持其幽默的言谈。所有这些出版人员,包括校对编辑 Barbara Kohl 和 Carol Leyba,索引编辑 Steve Rath,均为本书的高质量完成做出了贡献。我们也感谢那些为本书提供鲜亮外表的人们和工具:提供文字设计的 Detta Penna,提供封面设计的 Frances Baca,用于制作插图的 Dartmouth Publishing 工具和用于排版的 Windfall Software 工具。尤其感谢排版人员的努力,将我们在后期所做的有关数字方面的改动修正到出版物中。最后,评论人员为本书提供了许多充满智慧并且非常实用的评注,这对本书的结构、内容和质量都有着重要的影响。

对所有这些人以及每一章的作者,我们表示衷心的感谢。

目 录

第一部分 并 行 性

第 1 章 引言	2
1.1 并行计算硬件	2
1.2 并行应用	5
1.3 软件和算法	7
1.4 并行计算科学	9
第 2 章 并行机体系结构	10
2.1 单处理机体系结构	10
2.2 并行体系结构	17
2.3 并行体系结构的未来趋势	27
2.4 小结	28
第 3 章 并行编程面临的问题	29
3.1 体系结构	30
3.2 程序并行分解	33
3.3 并行性能优化	38
3.4 存储层次管理	42
3.5 并行调试	44
3.6 性能分析与调整	45
3.7 并行 I/O	46
3.8 小结	47

第二部分 并 行 应 用

第 4 章 一般应用问题	50
4.1 一个简单例子的应用特征	50
4.2 求解泊松方程的雅可比方法的通信结构	52
4.3 一般计算格式的通信开销	55
4.4 基本复合系统应用模型	56
4.5 时间步进模拟和事件驱动模拟	58
4.6 应用问题的时间结构	59
4.7 基本复合系统并行模型小结	60
4.8 元计算问题	60
4.9 小结	61

第 5 章 计算流体力学中的并行计算	62
5.1 计算流体力学概述	62
5.2 不可压流	65
5.3 可压流	89
5.4 小结	97
第 6 章 环境和能源科学中的并行计算	98
6.1 地下流建模	99
6.2 IPARS 和 NetSolve 网格计算	103
6.3 IPARS 的跟踪与交互式模拟	105
6.4 地表水模拟	107
6.5 利用 ADR 实现流体和输运耦合模拟	110
6.6 小结	112
第 7 章 并行计算化学: NWChem 综述	113
7.1 分子量子化学	114
7.2 NWChem 体系结构	115
7.3 NWChem 中的并行计算支撑模块	117
7.4 NWChem 中的化学相关模块	120
7.5 NWChem 在计算化学领域中的地位	126
7.6 计算化学算法的共同特征	127
7.7 小结	130
第 8 章 应用综述	132
8.1 数值广义相对论	132
8.2 格子量子色动力学的数值模拟	134
8.3 海洋建模	139
8.4 地震模拟	143
8.5 宇宙结构的形成	147
8.6 计算电磁学	153
8.7 数据挖掘中的并行算法	156
8.8 信号和图像处理中的高性能计算	164
8.9 确定型 Monte Carlo 方法及其并行化	168
8.10 光子源拟实时 X 射线微成像实验	173
8.11 基于 WebHLA 的部队建模与仿真元计算环境	178
8.12 应用的计算结构	188
8.13 小结	194

第三部分 各种软件技术

第 9 章 软件技术	197
-------------------	-----

9.1	并行编程技术的选择	198
9.2	如何获得正确和有效的执行	208
9.3	小结	209
第 10 章	消息传递和线程	211
10.1	消息传递编程模型	211
10.2	多线程编程	218
10.3	小结	222
第 11 章	并行 I/O	223
11.1	并行 I/O 框架	224
11.2	MPI-IO	228
11.3	并行 I/O 优化	232
11.4	如何获得高的 I/O 性能	235
11.5	小结	240
第 12 章	编程语言与编译器	241
12.1	自动并行	242
12.2	高性能 FORTRAN:数据并行编程	243
12.3	OpenMP:共享存储并行编程	247
12.4	Co-Array FORTRAN:SPMD 编程	251
12.5	支持技术	256
12.6	发展趋势	257
12.7	小结	258
第 13 章	面向对象的并行库	260
13.1	面向对象的并行库	260
13.2	Java 中的面向对象并行编程	265
13.3	C++ 多线程计算	269
13.4	远程函数调用、全局指针和 Java RMI	272
13.5	基于组件的软件设计	274
13.6	小结	276
第 14 章	问题求解环境	278
14.1	NetSolve:基于网络的解法器	279
14.2	基于 WebFlow 对象的 Web 计算	284
14.3	WebPDELab	291
14.4	其他网格计算环境	300
14.5	小结	301
第 15 章	性能调整和程序调试工具	302
15.1	正确性和性能监测的基本概念	303
15.2	测试与调试实现上面临的问题	307