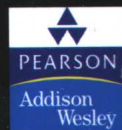




国外经典教材·计算机科学与技术



Distributed Computing: Principles and Applications

分布式计算原理与应用

(美) M. L. Liu 著

顾铁成 王亚丽 叶保留 译



清华大学出版社

国外经典教材·计算机科学与技术

分布式计算原理与应用

(美) M. L. Liu 著

顾铁成 王亚丽 叶保留 译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共 12 章,全面概述了计算范型、协议和应用程序接口(API),其中包括套接字、组播、远程方法调用(RMI)、公共对象请求代理体系结构(CORBA)、接口定义语言(IDL)、applet、servlet、公共网关接口(CGI)和简单对象访问协议(SOAP)。各章首先提出一个范型和/或协议,然后介绍如何使用 API,借此阐述核心概念。

这是专门为本科生和研究生设计的教材,供分布式计算课程使用。

Simplified Chinese edition copyright © 2004 by **PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.**

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Distributed Computing: Principles and Applications by M. L. Liu,
Copyright © 2004

EISBN: 0-201-79644-9

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Education, Inc.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Pearson Education 授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2004-0492

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

分布式计算原理与应用/(美)刘(M. L. Liu)著;顾铁成等译.—北京:清华大学出版社,2004.8

书名原文: Distributed Computing: Principles and Applications

(国外经典教材·计算机科学与技术)

ISBN 7-302-09056-4

I. 分… II. ①刘… ②顾… III. 分布式操作系统—程序设计—教材 IV. TP316.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070989 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

文稿编辑: 文开棋

封面设计: 久久度文化

印 装 者: 北京牛山世兴印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 22.5 字 数: 517 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09056-4/TP·6398

印 数: 1~4500

定 价: 39.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

出版说明

近年来,我国的高等教育特别是计算机学科教育,进行了一系列大的调整 and 改革,急需一批门类齐全、具有国际先进水平的计算机经典教材,以适应当前我国计算机科学的教学需要。通过使用国外先进的经典教材,可以了解并吸收国际先进的教学思想和教学方法,使我国的计算机科学教育能够跟上国际计算机教育发展的步伐,从而培育出更多具有国际水准的计算机专业人才,增强我国计算机产业的核心竞争力。为此,我们从国外知名的出版集团 Pearson 引进这套“国外经典教材·计算机科学与技术”教材。

作为全球最大的图书出版机构, Pearson 在高等教育领域有着不凡的表现,其下属的 Prentice Hall 和 Addison Wesley 出版社是全球计算机高等教育的龙头出版机构。清华大学出版社与 Pearson 出版集团长期保持着紧密友好的合作关系,这次引进的“国外经典教材·计算机科学与技术”教材大部分出自 Prentice Hall 和 Addison Wesley 两家出版社。为了组织该套教材的出版,我们在国内聘请了一批知名的专家和教授,成立了一个专门的教材编审委员会。

教材编审委员会的运作从教材的选题阶段即开始启动,各位委员根据国内外高等院校计算机及相关专业的现有课程体系,并结合各个专业的培养方向,从 Pearson 出版的计算机系列教材中精心挑选针对性强的题材,以保证该套教材的优秀性和领先性,避免出现“低质重复引进”或“高质消化不良”的现象。

为了保证出版质量,我们为这套教材配备了一批经验丰富的编辑、排版、校对人员,制定了更加严格的出版流程。本套教材的译者,全部来自于对应专业的高校教师或拥有相关经验的 IT 专家。每本教材的责编在翻译伊始,就定期不间断地与该书的译者进行交流与反馈。为了尽可能地保留与发扬教材原著的精华,在经过翻译、排版和传统的三审三校之后,我们还请编审委员或相关的专家教授对文稿进行审读,以最大程度地弥补和修正在前面一系列加工过程中对教材造成的误差和瑕疵。

由于时间紧迫和受全体制作人员自身能力所限,该套教材在出版过程中很可能还存在一些遗憾,欢迎广大师生来电来信批评指正。同时,也欢迎读者朋友积极向我们推荐各类优秀的国外计算机教材,共同为我国高等院校计算机教育事业贡献力量。

清华大学出版社

2004.03.20

国外经典教材·计算机科学与技术

编 审 委 员 会

主任委员：

孙家广 清华大学教授

副主任委员：

周立柱 清华大学教授

委员（按姓氏笔画排序）：

王成山	天津大学教授
王 珊	中国人民大学教授
冯少荣	厦门大学教授
冯全源	西南交通大学教授
刘乐善	华中科技大学教授
刘腾红	中南财经政法大学教授
吉根林	南京师范大学教授
孙吉贵	吉林大学教授
阮秋琦	北京交通大学教授
何 晨	上海交通大学教授
吴百锋	复旦大学教授
李 彤	云南大学教授
沈钧毅	西安交通大学教授
邵志清	华东理工大学教授
陈 纯	浙江大学教授
陈 钟	北京大学教授
陈道蓄	南京大学教授
周伯生	北京航空航天大学教授
孟祥旭	山东大学教授
姚淑珍	北京航空航天大学教授
徐佩霞	中国科学技术大学教授
徐晓飞	哈尔滨工业大学教授
秦小麟	南京航空航天大学教授
钱培德	苏州大学教授
曹元大	北京理工大学教授
龚声蓉	苏州大学教授
谢希仁	中国人民解放军理工大学教授

译者序

计算机和电信网络技术的迅猛发展，尤其是基于 TCP/IP 方面的技术进展，大大提升了分布式计算在计算机学科中的重要性和地位。分布式计算的目标是把多台联网的计算机系统统一起来，让它们共享信息或其他资源，它包含多媒体系统、客户-服务器系统、并行计算、Web 编程、移动 agent 等等。

针对这一现状以及目前本科生现有的知识结构，很多高校开始在本科阶段开设分布式计算课程。遗憾的是，真正适合本科生的教材却不多。所以在看到本书时，作为教师的我们相当高兴。可以这么说，这是一本非常适合本科生的分布式计算教材。它是作者 6 年教学成果的结晶，出版后立即被泰国 Silpakorn 大学、美国 Lamar 大学，加拿大 Victoria 大学等多所高校计算机专业选作教材，供本科生使用。

对于设计和编写多媒体、客户-服务器、基于 Web 和移动 agent 以及并行系统而言，基础概念和原理是必须掌握的。本书首先就开门见山地介绍了操作系统、网络、软件工程、过程间通信和分布式计算范型所设计的相关基础概念。这对读者大有帮助。

然后，作者探索了各种计算范型、协议和工具的有趣特性和有用的应用。这一部分中，各章的编排结构大致相同：先介绍一个范型和协议，然后再展示一个 API，对相关的概念加以说明。

最后，作者概述了消息队列系统范型、移动 agent 范型、网络服务范型和对象空间范型。这些范型都比较新，是研究领域内的最新主题。读者可从中了解到分布式计算的最新发展动态和未来的发展趋势。

本书具有以下特点：

- 具有典型的教材特色。采用一种适合于学术环境的叙述性风格，利用图表来形象地说明各个知识点。各章末尾提供小结、练习和参考文献，供学生巩固所学知识，并进行深入研究。
- 作者提供完整的教辅材料，包括演示文稿、示范代码、配套网站和教师手册等。
- 重点讨论计算抽象（也称为细节隐藏）和范例；它主要关注网络计算体系结构的上面几层，即计算的抽象和范型。
- 特别强调理论与动手实践相结合，使用示范代码和动手练习来说明和巩固书中提出的概念。
- 尤其注重分布式计算的联网应用、数据处理应用、工程与商业应用。这比那些纯粹的理论应用更实用。

总的说来，从内容上看，本书正如其名，介绍了分布式计算的基本概念、原理和应用。它的重点在于以网络为中心的计算抽象（也称为细节隐藏）和范型。从编排体系上看，本

书也是比较好的，非常容易理解。虽然它涵盖了大量主题，但这些主题井然有序，阐述得非常清楚，并配备了相应的示意图。本书虽然是为本科生写的，但也适合研究生使用。

本书中文版是我们多人的工作成果，参与翻译的人员有顾铁成、王亚丽、叶保留、高青、左伟兴、徐健、李桂琼、张剑、吴堃、冯明辉、姚建等同志。全书最后由顾铁成统稿。由于水平所限，翻译过程中错误在所难免，请广大读者批评指正。

我们还要感谢在翻译工作过程中为我们提供帮助的所有人，尤其要感谢我们的文稿编辑文开棋，她以极大的耐心审阅了全书，弥补了我们的疏漏之处；还要感谢尤晓东，是他对内容及版式提出了中肯而有价值的评审意见，并使之付梓出版。

译者

2004年8月于南京

前 言

在 IEEE 计算机学会/ACM 联合工作小组(the Joint IEEE Computer Society/ACM Task Force)制定的 the Year 2001 Model Curricula for Computing(Computing Curricula 2001)(<http://www.computer.org/education/cc2001/report/index.html>)中, 以网络为中心的计算(net-centric computing, 下文简称为网络计算)已经作为一个关键领域, 被纳入计算机科学知识体系:

计算机和电信网络技术方面的最新发展, 尤其是那些基于 TCP/IP 方面的技术进步, 提升了网络技术在计算机学科中的重要性和地位。网络计算涉及一系列的具体方向, 包括计算机通信网络的概念和协议、多媒体系统、Web 标准和技术、网络安全、无线和移动计算、分布式系统等。

要了解和掌握这一领域, 应从理论和实践两方面入手。建议学生在学习时, 一定要有动手实践和分析, 以便强化他们对有关概念及其应用于解决实际问题的理解。实验应包括数据收集和合成、经验建模、源代码级的协议分析、网络分组监控、软件构建、各种可选设计模型的评价等。只有通过实验, 才能很好地理解这些重要的概念。

ACM 样板课程计划列出了这一领域内的一些主题, 规定了最少要讲授 15 小时的核心主题和另外一些可选主题。我从 1996 开始, 在位于 San Luis Obispo 的州立加州理工大学(California Polytechnic State University, 缩写为 Cal Poly)开设的一系列分布式计算课程中介绍过其中大部分主题。在这些课程中, 我从各种刊物中摘录了有关内容, 以及我自己制作的一些材料, 包括幻灯片、代码实例、实验/习题/研究作业等, 我把这些东西作为课程材料打包提供给了学生。

本教材揉合了我在过去 6 年时间里积累的各种教学材料, 专为高年级本科生的专业任选课而设计的。

写作本书的动机

从传统上来看, 分布式计算课程一般是在研究生阶段开设的。随着 Internet 和内联网应用的迅猛发展, 越来越多的本科生也开始涉足网络计算, 或者是在工作岗位上, 或者是自己兴趣驱动。分布式计算不同于: (1)通信和网络; (2)分布式操作系统。与网络层和操作系统层相比, 它是在一个更高的抽象层次上考虑问题, 处理的是程序设计范型、应用程序接口(API)或工具集, 以及网络计算中的各种协议和标准等。尽管市面上已经有了大量有关

网络程序设计和技术书籍，但比较缺乏教科书风格的、能将分布式计算的理论和实践结合起来的书。

本书有以下特色：

- 它旨在向**本科生**介绍分布式计算的原理，这些内容原来只对研究生讲授；
- 它主要关注网络计算的体系结构的上面几层，即**计算的抽象和范型**。
- 它包含了概念性的内容和实践性的内容，利用代码实例和习题来说明与巩固书中的概念。
- 它是作为教材来编写的，因而采用了一种适合于学术环境的叙述性风格，利用图表来形象地说明书中的内容，每一章的后面都给出了习题及参考文献，供学生进一步研究。
- 它是为“**通过动手实践来教学**”(learn-by-doing teaching)模式而设计的：通过程序实例来巩固刚讨论过的主题，**实验活动**揉合到各章后面的练习题中。
- 作者还提供了一些**补充教学材料**，包括幻灯片、程序实例、配套网站和教师用书。
- 除了印刷版的书、文章外，本书还引用了许多可靠的参考文献，它们都可以在 Web 上找到。例如，参考文献中给出了可以上网查阅 Internet Requests for Comments (RFC)的站点链接。作者认为，本科生一般更喜欢上网查阅能轻松从 Web 上找到的参考文献(注意：尽管我选择将比较可靠和稳定的 Web 链接放在参考文献部分，但随着时间的推移，其中一些链接可能会变得过时不可访问了。欢迎读者将失效的链接反馈给我)。

本书未涉及的内容

- **本书不是关于网络的。**从一般意义上讲，网络包含分布式计算方面的内容，就好像分布式计算总是涉及联网的计算机一样。但是从学术的角度来看，网络方面的课程一般关注的是网络体系结构的底层，研究的是诸如信号传输、纠错、数据链路层协议、传输层协议、Internet 层协议等。本书则有所不同，着重描述网络体系结构中最上面的几层，即应用层、表示层和会话层，并且，更多的是从计算范型和抽象的角度来进行讨论，而不是从系统体系结构角度。
- **本书不是关于分布式系统的。**我们的重点不在于系统体系结构或系统资源方面。
- **本书不是有关 Web 应用程序开发的。**尽管 Internet 目前是最热门的网络，面向 Internet 的程序设计是分布式计算的一种特殊形式。本书从一般网络的角度讨论了分布式计算问题，涉及 Internet、内联网和局域网等。
- **本书不是有关应用程序接口(API)或技术的。**尽管书中介绍了一些 API，但只是作为支持特定分布式计算范型的代表性工具集而给出的；介绍这些 API，目的是为了便于学生们编写那些旨在巩固书中概念和原理的上机实验题。

致本书教师

本书是为一学期的专业任选课编写的。进度快的话，书中的全部 12 章内容可以用 3 个月左右时间讲完；进度慢的话，可以用一学期左右的时间讲完。学习本书内容时，无需有关网络、操作系统或软件工程等方面的高级知识。本书供本科高年级学生选用。

对于分布式计算这样一个非常大的领域，一本书是不可能覆盖这一领域的方方面面的。例如，本书就没有涉及这一领域中最新的技术发展动态，因为本书的重点在于讲授进程间通信。

贯穿本书的一根主线是抽象思想(即对细节的封装)，书中各部分围绕这一主线，阐述了这一思想是如何应用在各种分布式计算范型中的，以及在提供不同抽象级别的各种工具之间应如何进行权衡。我始终坚信，这些概念和思想对计算机科学和计算机工程专业的每个学生来说都是非常重要的，无论他们选择了哪一个专业方向。在理解了这些基本概念后，学生们就能够在其日后的职业生涯中，独立探索新的工具和技术。

本书前三章给出了引言性的背景知识，这些内容可以在一个学期的前一个或两个星期介绍。在这一段时间中，可以向学生们大致介绍许多他们可能接触过或未接触过的问题。接下来的几章专业技术性较强，也更深入细致，可大致以一星期一章的速度讲授。

在采用本书教学时，由于分布式计算这一题目非常大，因而，老师们可能会觉得还需要补充另外的一些自己认为重要的内容。例如，你可能觉得有必要增加对分布式算法的介绍，或更为深入地讨论安全领域内的问题。要想腾出时间来补充这些额外的内容，可能要考虑跳过本书中的一些章节。

本书并没有假定读者已经具备了分布式计算方面的预备知识。在 Cal Poly，我利用本书给具有不同背景的学生讲课，他们当中，既有毫无多进程程序设计经验的学生，又有经验丰富的网络软件开发人员。尽管书中的内容最适合于前一类学生，但那些具有高级知识背景的学生也能够从书中找到自己感兴趣的内容。

读者注意

关于本书中编排体例的一些说明：

- 关键术语和短语是通过黑体字来强调的。例如：本书是有关**分布式计算**的。
- 特殊单词如程序中的标识符、非标准化的协议名称、操作名称等，都是以斜体来表示的，以区别于同一句子中的其他内容。例如后面这句话：当 *RunThread3* 时，结果应该是怎样的？编译并运行它。
- 保留字和标识符(如 Java 语言或某种著名协议中规定的那些保留字和标识符)以斜体形式示出；例如：为了支持程序中的线程机制，Java 提供了一个名为 *Thread* 的类，以及一个名为 *Runnable* 的接口。

有关书中选用的文章内容和 Web 链接的一点说明：

本书中, 选用了已在各种媒体中发表过的一些文章中的内容。这些文章是根据它们与书中内容的相关性而选择的, 同时还兼顾了读者的兴趣。

每一章末尾列出的参考文献中, 大多实际上是 Web 链接。这是刻意安排的, 因为作者认为, 有了这些可从 Web 上找到的材料, 可以增强学生们的主动性, 使其进一步展开对某一问题的研究。书中给出的 Web 链接都是作者认为比较可靠和稳定的。但是, 其中一些难免会逐渐失效, 对于这种情况, 作者表示歉意, 并欢迎读者来信告知。

作者的联系方式

写书是一件痛苦而耗时的工作。我尽了自己最大的努力, 来确保书中内容的准确性。读者如果发现了任何错误或不准确的地方, 或者有关于如何改进的建议, 欢迎与作者联系。作者的电子邮件地址: mliu@csc.calpoly.edu。

补充材料

本书的补充材料(包括程序实例的源程序和幻灯片)可以从以下网址获得:

www.aw.com。

面向教师的其他补充材料则通过联系当地的 Addison Wesley 的销售代表获得。

致 谢

感谢很多作者和出版商的慷慨, 他们同意我在此使用他们先前已经发表的一些作品, 并允许将其中的一部分内容包含在本书中。

我永远感谢我的博士导师, 加州大学 Santa Barbara 分校计算机科学的 Divyakant Agrawal 博士和 Amr El Abbadi 博士, 是他们引导我进入了分布式计算这一领域。

感谢 Cal Poly 的学生 Jared Smith, Domingo Colon, Vinh Pham, Hafeez Jaffer, Erik Buchholz 和 Lori Sawdey, 感谢他们在校时对本书付出的时间和精力。还要感谢 Cal Poly 的在 2001—2003 学年中选修后面所列课程的学生们: 计算机工程 369、计算机工程 469 以及计算机科学 569, 他们忍受了本书初稿中的大量错误。

感谢我在 Cal Poly 工程学院计算机科学系的同事们, 他们为我提供的教学机会触发了我的写作灵感。没有他们的鼓励, 本书是不可能最终完成的。

感谢 Addison Wesley 的工作人员, 他们付出了宝贵的指导和帮助, 使得本书最终得以完成。还要感谢以下评审人员, 他们不仅奉献出了宝贵的时间并慷慨地让我分享了他们的智慧:

Anup Talukdar(摩托罗拉实验室, Schaumburg)

Ray Toal 博士(Loyola Marymount 大学)

David Russo 先生(德克萨斯大学 Dallas 分校, 计算机科学和工程系高级讲师)

Alvin Lim 博士(Auburn 大学, 计算机科学和软件工程系)

Issac Ghansah 教授(加州大学 Sacramento 分校, 计算机科学和计算机工程系)

Bruce Char(Drexel 大学, 计算机科学系)

最后, 感谢我的家人, 特别是我的儿子 Marlin, 他给了我奋斗的理由。

M. L. Liu

Cal Poly, San Luis Obispo

2003 年 1 月

目 录

第 1 章 分布式计算简介	1
1.1 定义	1
1.2 分布式计算历史	1
1.3 各种计算形式	4
1.4 分布式计算的优缺点	7
1.5 操作系统基础	10
1.6 网络基础	16
1.7 软件工程基础	27
小结	29
练习	30
参考文献	34
第 2 章 进程间通信	37
2.1 IPC 程序接口原型	38
2.2 事件同步	39
2.3 超时和线程	43
2.4 死锁和超时	44
2.5 数据表示	45
2.6 数据编码	47
2.7 基于文本的协议	48
2.8 请求-响应协议	48
2.9 事件状态图和顺序状态图	48
2.10 面向连接 IPC 与无连接 IPC 的比较	51
2.11 进程间通信范型的演变	51
小结	52
练习	53
参考文献	56
第 3 章 分布式计算范型	57
3.1 范型和抽象	57
3.2 一个应用实例	58
3.3 分布式应用范型	58

3.4 关于各种范型的权衡考虑	70
小结	71
练习	72
参考文献	73
第4章 socket API	75
4.1 背景	75
4.2 IPC 中的 socket 隐喻	75
4.3 数据包 socket API	76
4.4 流式 socket API	87
4.5 带非阻塞式 I/O 操作的 socket	96
4.6 安全 socket API	96
小结	97
练习	98
参考文献	102
第5章 客户-服务器范型	103
5.1 背景	103
5.2 客户-服务器范型中的关键问题	104
5.3 网络服务中的软件工程	107
5.4 面向连接服务器与无连接服务器	119
5.5 迭代服务器及并发服务器	126
5.6 有状态服务器	128
小结	134
练习	135
参考文献	138
第6章 组通信	139
6.1 单播和组播的比较	139
6.2 组播 API 原型	140
6.3 无连接及面向连接组播	140
6.4 可靠组播及非可靠组播的比较	141
6.5 Java 的基本组播 API	143
6.6 可靠组播 API	150
小结	150
练习	151
参考文献	153
第7章 分布式对象	155
7.1 消息传递与分布式对象的比较	155

7.2 基本分布式对象体系	157
7.3 分布式对象系统	158
7.4 远程过程调用	158
7.5 远程方法调用	160
7.6 Java RMI 体系结构	160
7.7 Java RMI API	162
7.8 RMI 应用示例	168
7.9 RMI 应用构建步骤	172
7.10 测试和调试	173
7.11 RMI 和 socket API 的比较	173
7.12 进一步思考	174
小结	174
练习	175
参考文献	177
第 8 章 高级 RMI	179
8.1 客户回调	179
8.2 stub 下载	189
8.3 RMI 安全管理器	190
小结	196
练习	197
参考文献	198
第 9 章 Internet 应用(一)	199
9.1 HTML	200
9.2 XML(可扩展标记语言)	201
9.3 HTTP	201
9.4 动态生成的 Web 内容	209
9.5 CGI	210
9.6 Web 会话和会话状态数据	219
小结	233
练习	234
参考文献	238
第 10 章 CORBA	241
10.1 基本体系结构	241
10.2 CORBA 对象接口	242
10.3 ORB 互连协议	242
10.4 对象服务器和对象客户	243
10.5 CORBA 对象引用	243

10.6 CORBA 名字服务和互操作名字服务	244
10.7 CORBA 对象服务	246
10.8 对象适配器	246
10.9 Java IDL	247
10.10 CORBA 和 Java RMI 之间的权衡	260
小结	260
练习	260
参考文献	262
第 11 章 Internet 应用(二)	263
11.1 小应用程序	263
11.2 小服务器程序	265
11.3 Web 服务	283
11.4 简单对象访问协议	285
小结	295
练习	296
参考文献	302
第 12 章 高级分布式计算范型	305
12.1 消息队列系统范型	305
12.2 移动 agent	310
12.3 网络服务	316
12.4 对象空间	319
小结	322
练习	322
参考文献	323
后记	325
术语对照表	327

第 1 章 分布式计算简介

本书探讨了分布式计算技术。在本章中，我们首先通过回顾分布式计算的发展历史，并将之与其他计算形式进行比较，阐述了本书中所指的分布式计算的定义和内涵。随后介绍了有关操作系统、网络、软件工程等学科中的一些基本概念，以便为理解后续各章内容打下基础。

1.1 定 义

在分布式计算这一领域中，术语不太统一，其根源之一可能是由于该领域的发展速度太快，新思想不断涌现，因而缺乏一组通用术语。下面是本书中用到的一些关键术语的定义。阅读本书时，务请牢记这些定义，并注意部分术语在其他语境中可能有不同定义。

早期的计算是在单处理器上执行的。**单处理器(uni-processor)**，或**单机计算(monolithic computing)**，采用单个中央处理单元(CPU)来执行每个应用中的一个或多个程序。

分布式系统(distributed system)指通过网络互连，可协作执行某个任务的独立计算机集合。不共享内存或程序执行空间的一系列计算机被认为是相互独立的。**相对紧耦合(tightly coupled)**计算机系统而言，这些计算机称作**松耦合(loosely coupled)**计算机；前者可通过公共内存空间共享数据。

分布式计算(distributed computing)指在分布式系统上执行的计算。在本书中，我们探讨了运行于独立计算机系统上，通过彼此协作，执行诸如网络服务、Web 应用等计算的计算机程序的运行方法。

- **网络服务(network service)**指在网络上由被称之为服务器的特定程序提供的服务。WWW、电子邮件(email)、文件传输(FTP)都属于这种服务。服务器程序仅仅是分布式计算中所谓的客户/服务器模式的一方。客户/服务器模型将在本书后面章节广泛介绍。
- **网络应用(network application)**指面向最终用户运行于网络计算机上的应用。网络应用覆盖了从企业应用(如在线购物车、电子拍卖站点)到非商业应用(如聊天室、网络游戏等)等应用领域。

网络服务和网络应用之间并没有很严格的区分界限，两者也通常被互换使用。

1.2 分布式计算历史

在早期只有单机计算机系统，每台计算机都能执行存储程序。将一系列独立的计算机