分布式系统与分布式算法

苏运霖◎著

暨南大学出版社

分布式系统与分布式算法

FENBUSHIXITONG YU FENBUSHISUANFA

苏运霖 著

暨南大学出版社

粤新登字 13 号

责任编辑：张雨竹

封面设计：水　珠

分布式系统与分布式算法

著　　者：苏运霖

出版发行：暨南大学出版社

经　　销：广东省新华书店

排　　版：广州市科新电脑技术服务中心

印　　刷：广东省水电学校印刷厂

开　　本：850×1168　1/32

印　　张：18.25　43 万字

版　　次：1995 年 5 月第 1 版

　　1995 年 5 月第 1 次印刷

印　　数：1－1000 册

ISBN 7－81029－381－8

T·5　定价：48.00 元

·暨南学人丛书·

总前言

"朔南暨，声教讫于四海。"——语出《尚书》。

以传扬华夏"声教"为己任的暨南大学，是我中华第一间国立华侨大学。自清光绪三十二年建校始，经历沧桑已近一个世纪，泽育之暨南学人学子数以万计，有如千川百汇，流布海内外，传承华夏之文化灵慧，续我炎黄之魂魄命脉。暨南学人骄子，不负祖先厚望，不负母校育爱，在彼司职之岗位，勤奋耕耘，多有卓著奉献。有跻身于世界名人名流之行列者；有潜心于学术科技，摘得丹峰桂冠者；亦有投身于各行各业宏达，绘展祖先希冀之蓝图者。为人类之文明进步、华夏之昌盛振兴，献出了殷殷赤子之情。为母校暨南大学赢得了美好的社会声誉。母校为此而感到光荣、骄傲。

值此母校出版社创立三周年之际，我们推出"暨

南学人丛书”系列图书，旨在汇结暨南学人之有价值、有影响的学术研究成果，弘彰暨南校友的卓著声名、成功业绩，以增添祖国和母校的文明库藏和学术文化积累，沟通和系结海内外学人学子之心灵和情怀，铺设“龙的传人”的汇接桥梁。

《暨南学人丛书》乃为暨南大学历届学人自己的一套永续不断的书列。举凡功成名就、贡献突出者列入本丛书传记系列出版；在学术上有高水准建树，并有重大价值和影响的论著，则列入本丛书学术专著出版。

《暨南学人丛书》之出版计划，深得我校师生、校友及校董事会董事们的热情关注和真诚支持。或献智献策，或惠寄书稿，或解囊资助，令我们感到无限欣慰与鼓舞。谨愿五洲四海之暨南学子，以心系故园推动科技文化进步之情怀，支持《暨南学人丛书》的出版工作，俾使我们不负历史与时代之重托，不负历届学人之厚望。

暨南大学出版社

一九九三年三月

前言

在经历了两个酷暑与严寒之后，这本书终于完成了。现在，我以真挚的心情向计算机科学界的同行和读者献上本书，且愿它具有学习的价值和参考的价值，它的出版能推进我国计算机科学界在本领域的研究与应用。

这里，对于写作本书的起因和背景作些介绍，或许会对读者有所帮助。

那是在1989年，作者获得著名美籍物理学家、诺贝尔奖金获得者杨振宁教授的邀请，前往美国纽约州立大学石溪分校进行学术访问。该校计算机科学系的主任 **Philip M. Lewis** 教授在我抵达之后，即介绍我和该系教授 **Arthur J·Bernstein** 合作。**Arthur J·Bernestein** 教授立即向我介绍了他本人在分布式算法、并发性等方面的研究工作，并且向我提供了大量这方面的最新文献。事实上，**Philip M. Lewis** 教授也从事这个领域的研究工作，他们俩正合著《程序设计与数据库系统的并发性》一书。当时他就指出，这是一个很有前途、当前也很热门的研究领域。于是，我才开始系统接触这方面的论著，包括校审他们的合著新书稿。我发现，这个领域确实包含了许多非常有趣而困扰的问题。我在那里的时间愈长，就愈深刻感受到那

里对这个问题的研究热度，也愈发感到它的重要性。这不仅仅是学术界的兴趣爱好所致，也是实践向理论界提出的一个挑战。

回国后，我继续进行这个领域的研究。同时也准备本书的写作。当然，我的研究工作本身也是准备工作的一部分。我原计划用一年时间完成这件事，但是，繁重的教学和科研工作，加上同样繁重的行政工作，使我不得不一再推迟这个计划。有时，我简直忙得一天连写一行稿的时间都没有。然而，一旦有了可利用的时间，我就会争分夺秒地多写一些。正是在这种情况下，才终于把它完成了。我不能掩饰自己完成这个浩繁工作后的欣喜，如果我的这一工作能得到广大同行和读者的赞赏，那我就会更加倍地喜悦。

为了使读者对本书内容和结构有更多的了解，这里，先对一些问题作些交代，我想应该是必要的。

首先一个问题是阅读本书的预备知识。和学习任何较为深入的学科知识一样，我们对有意于阅读本书的读者在知识准备上做了假定：假定他们具有较好的高等数学和离散数学基础。自然，我们还假定他们具有程序设计——至少是一种语言的程序设计——的实践经验。除此之外，对于系统程序的了解，也会对学习课程有帮助，尽管对此并不特别要求。

其次，介绍本书的主要内容。本书共分为八章：

第一章，绪论。首先介绍什么是分布式系统。着重介绍其组成和特征，以及有关分布式系统研究的领域和主要问题。同时，介绍关于分布式算法的研究问题。

第二章，分布式系统。集中讨论关于分布式系统的一些问题，包括拓朴学、通讯系统的类型、文件系统、计算的方式、事件的顺序、同步、死锁处理、健全性、达到一致性及选举算法等等。本章所涉及的乃是分布式系统中人们较为关注的主要问题。

第三章，共享存储问题。这是人们所研究的、最初也是最深入研究的一种分布式算法。因此，这里列举了一系列共享存储的算法，包括艾森伯格——麦圭尔互斥算法、伯恩斯算法、兰勃特的“面包房”算法、彼得森——费希尔二进程互斥算法、彼得森——费希尔 n 进程算法等等，以及使用测试并建立机制的一些其它算法。在介绍这些算法过程中，有关彼得森——费希尔二进程互斥算法的断言式证明，既是让读者对于断言证明有所接触，也是作者为此书特意描绘的一笔——这曾是一个未解决的问题，而由作者一举解决了。

第四章，一致性问题。这里有关拜占庭问题的讨论，可以说在国内尚属罕见，这里，对它进行了解说。有关知识理论一节，则大部分是作者本人创立的。

第五章，静态网络算法。这一章所介绍的静态网络算法，包括路径算法、极大流量算法、极小代价流量以及应用等等，也反映了在基本静态网络算法中，人们最感兴趣的一些问题。

第六章，动态网络算法。动态通讯和 OSI 参考模型是本章的头一个论题。第二个论题多点对多点的通讯，也是本人给出的。第三个问题则是全局快照的问题。

第七章，关于分布式系统的模型。这里列出了三种较为流行的模型：I/O 自动机 Petri

网和通讯顺序进程（CSP）。同时给出三种模型供读者来自行品味，也是本书的一个特色。本章中的许多例子，都是作者自己给出的。

第八章，形式化描述和验证。本章从一个例子谈起，逐步论述了有关形式化描述和验证所面对的各种问题。我们讨论了安全性、不变量性、无干扰性，进而又讨论了消息传递的证明规则与证明活性性质，以及关于形式描述等问题。

本书主要参考书：

1. **Nancy A Lynch & Kenneth J · Goldman. Distributed Algorithms MIT Press, May** 1989.

2. **A · J · Bernstein & P · M · Lewis. Concurrency in Programming and Database Systems. SUNY at Stony Brook**, 1992.

3. **M · W · Alford et al. Distributed Systems, Methods and Tools for specification. Spring—verlag**, 1985.

4. **C · A · D Hoare. Communicating Sequence Processcs. Prentice—Hall**, 1985.

5. **J · L · Peterson. Petri Net Theory and The Modeling of Systems Prentice — Hall**, 1981.

本书还包括了作者的下列一些工作成果：

1. **Peterson——Fischer** 二进程互斥算法的断言式证明，《软件学报》1993 年第 4 卷第 3 期；

2. 关于“知道”逻辑的组合逻辑算法及人类的逻辑推理过程，《全国人工智能会议文集》，西北工业大学出版社，1989 年；

3. 关于时态逻辑的知识表示问题，《广东

省计算机学会第四届学术年会文集》，电子工业出版社，1992 年；

4. 关于多点对多点的通讯；

5. 关于 I/O 自动机；

6. 关于 Petri 网。

这后三项虽然包含作者以往的工作，但是首次在这里发表。

为了帮助读者学习，我在每章之后附有一个小结，还有适量的习题供读者检查自己对该章的掌握程度。习题的选择是颇费心思的，我们鼓励读者开动脑筋来解决这些问题。这样做，必有好处。

从上述介绍可以看出，本书所涉及的问题以及算法，范围是相当广泛的。然而不能说分布式算法只限于这些类型。实际上，关于分布式操作系统和分布式数据库中的许多问题，我们并未涉及。即使是在所讨论的类型中，现存的算法也不仅限于此。所以，我们无意使本书成为有关分布式算法的一本百科全书。本书对于类型的选择及算法的介绍，都是经过了一番考虑的，它们既反映了作者的兴趣，也反映了作者对于这个领域的认识。这些类型的问题以及针对这些问题而提出的算法或者解决方法，应被认为是在分布式系统和分布式算法中具有较突出重要的地位。

著名计算机科学家 E·W·Dijkstra 曾经指出，当大约二十年前，计算机界面对并发性问题时，部分地由于它在技术上，不同于它所出现的环境，部分地则由于它同时引发的不确定性的历史事实，使得它导致了无穷无尽的困惑和混乱。想要摆脱这种困境，要求一个成熟的和具有献身精神的科学家进行艰难工作。

Dijkstra 在这里所指出的并发性，正是分布式系统的主要特征之一。今天，分布式系统比他说这话时又有了更大的进展。在这个领域里产生了更多的成果，同时也提出了更多的问题。这就更需要有他所说的那种科学家的艰难而有成效的工作。作者决不敢宣称是那种成熟的科学家，但仍然愿意并且自信有献身精神——既为了祖国的繁荣昌盛而献身，也为了整个科学技术的进步而献身。因此，如果本书的出版在这两方面都能起到一点点作用，也就心满意足了。

最后，在本书的写作过程中，作者除了得到许多同行的鼓励外，还得到我的学生们的许多帮助，尤其是审稿人对于本书提出了许多有益的建议和指正。我的家人——包括我远在印尼的母亲和弟弟妹妹们，和我的妻子、女儿、儿子给予我的理解与精神上的支持。没有这一切，我很难相信自己能有勇气和毅力来完成它。因此，在这里向他们所有人表示我由衷的谢意！

由于时间仓促，加之本人水平有限，书中的缺点错误在所难免，谨祈读者不吝指正。

苏运霖

1992 年于暨南大学

目录