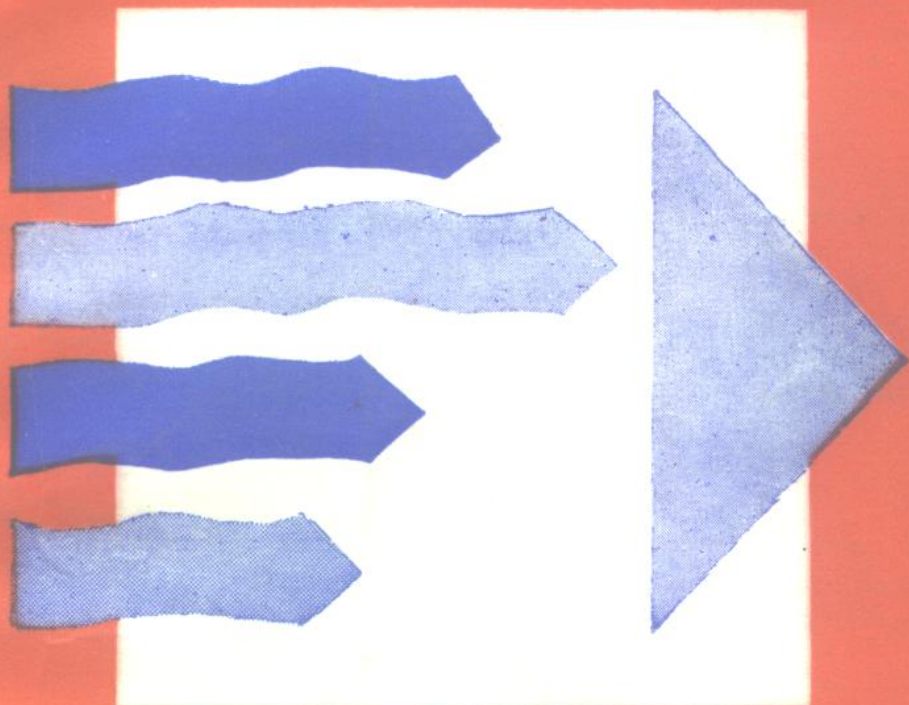


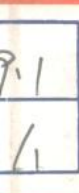
CHAOJI JISUANJI



超级计算机

渠川璐 著

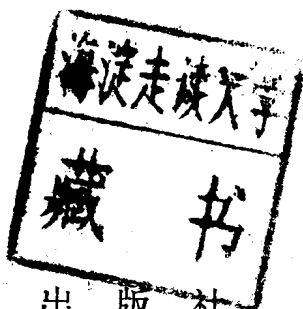
中国铁道出版社



TP389.1
QCL/1

超级计算机

渠川璐 著



中国铁道出版社

1991年·北京

0021199

内 容 简 介

本书是目前国内首次出版的有关当前国际瞩目的“第六代计算机”设计原理及技术的专著。书中对 90 年代第六代计算机从器件、结构到设计进行了系统的分析和阐述。全书共分九章：第一章计算机的超级化；第二章智能信息化；第三章认知模型的更新；第四章超级计算机结构；第五章神经网络拓年与最短路径；第六章神经网络的模拟；第七章超级计算机的机器学习；第八章超级计算机的激光化；第九章超级计算机的超导化。

本书可供制定计算机发展的规划人员，从事计算机研究与应用的工作者，大学研究生、本科生及计算机专业教师使用。

JS281/10

超 级 计 算 机

渠川璐 著

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京东单三条 14 号)

责任编辑 殷小燕 封面设计 翟 达

各地新华书店经售

北京东华印刷厂印

开本：850×1168毫米1/32 印张：9.125 字数：234 千

1991 年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：(平) 1—4,500册

(精) 1—1,200册

(平), ISBN7-113-01061-X/TP·106 定价：5.90 元

(精), ISBN7-113-01065-2/TP·108 定价：9.20 元

再 序

日本人曾挑战性地向世界提出了第五代计算机(FGCS)计划。现在,日本又在原来“人体计划”的基础上提出了更富于挑战性的“第六代计算机”计划。计划的主要内容可以概括为以下三点。即:

1. 信息方面的深度智能化;
2. 计算机结构的神经网络化;
3. 支持硬件的高速光集成及超导化。

这是第五代计算机合乎情理的发展。美国国防部也在1990年10月提出了类似的建议。同时,美国正加速在贝尔实验室、斯坦福研究院、海军研究院、麻省理工学院、卡尼基—梅龙大学、全美光学公司及NASA等处加紧进行这方面机器的研究。

本书在有关深度智能化算法、神经网络结构机器设计及高速支持量子光学、超导量子参变器件方面——也就是日本人所谓的“第六代计算机”的主要技术设计方面进行了系统描述。由于“第六代计算机”的名词仅是日本人这样提,所以我们只讨论其有关技术并且使用“超级计算机”这种名词而不用日本人专用的“第六代机”字样。这是由于:

1. “超级计算机”比“第六代机”名称使用更广泛;
2. 日本人在划分计算机“代”数上是不够明确的。如果按支持器件来分,国际上原来认为第五代机是“光子计算机”而第六代机是“原子—晶格”(Atom—Lattice)计算机。

因此,对有关技术我们虽然都阐述了,但我们恰恰是有意回避了“第六代计算机”这种名词。希望读者注意。

渠川璐

1991年3月

序 言

电子计算机的推广已在当前社会上产生了重大而深远的影响。但随着人类社会越来越高的社会需要,现有的电子计算机不论是从功能上或速度上都远远满足不了要求。这就使得整个 80 年代都处于发展“超级计算机”(Supercomputer)的时期。目前,超级计算机已面临即将走向市场的阶段。从器件上讲,它们的支持器件是量子器件;从功能上讲,它们是知识处理和数据两用的超高速机器(潜在可达 10000 亿次/秒),并且有机器自动发明能力;从结构上讲,它们是相邻相连的神经网络机器。其中几乎采用了一切现行高技术。

我国是有条件开发这种机器的。遗憾的是,似乎规划人员缺乏必要的自信和魄力。另外,社会上也没有对超级计算机有一个全面认识。为了弥补这一点,作者在 80 年代末首先为北京航空航天大学的研究开出了这门课程。作者衷心希望能使十分分散的内容紧紧围绕“四个超越”这个方向,非常系统化地为我国信息行业能尽快从中取得一些良好的、有系统的信息,以为明日之中国在高技术上腾飞有所准备。

由于作者才疏学浅、时间紧迫,力不从心的错误是可能的。但我的用意在于能使人们感到“一切并非莫测高深”,“奋斗总会有成果的”。

本书承蒙翁以昭同志、华谔同志、陈俊同志、刘众同志、华苡同志、胡文镐同志、邓攻同志、何慧德同志撰写了部分章节,在此一并感谢。

渠川璐

1990 年 8 月

出版者前言

本书作者渠川璐(C. L. CHU)教授就读于清华大学航空系, 1956年毕业于北京航空学院, 1958年于清华大学自动化研究班毕业。之后至今在北京航空航天大学担任专职研究并任教。

渠川璐 50 年代中期提出了“模拟思维的逻辑自动机”、“模拟思维的多元贝叶斯机器模型”为我国人工智能早期奠基人之一。1979 年他与我国其它人工智能工作者共同创建了中国人工智能学会使倍受打击的我国人工智能研究合法化并趋向发展。1982 年起他领导研究了 BLAAPS 第二代专家系统及大量应用专家系统。1988 年他领导研制了我国第一台智能机器 CIM—1。

渠川璐曾担任获得 1983 年国家科技进步一等奖项目“歼六飞行模拟机”的计算机实时控制系统硬件总设计师。在教学科研、工程实践方面他具有三十余年经验。在计算机硬件、实时操作系统、专家系统、智能机器、激光技术方面都有相当造诣。他现任多个大学兼职教授、多个研究所技术顾问并受聘为“国际人工智能与模式识别学报”国际副主编, AVIGNON 国际专家系统会议连续三届国际学术委员。

本书是渠川璐教授根据他在北京航空航天大学 1988 年为研究生首次开出的“超级计算机设计”一课系统化而成。与他的《人工智能、专家系统与智能计算机》(北京航空航天大学出版社)、《电子数字计算机实时控制系统》(科学出版社)并为姊妹篇, 均将对有关研究领域起到应有作用, 爰为出版并进行推荐。

目 录

绪 论	1
第一章 计算机的超级化	3
1.1 什么叫计算机的超级化	3
1.2 为什么用“超级”这个形容词	4
1.3 在超级计算机上已作的尝试	7
1.4 超级计算机涉及的设计问题	10
1.5 中国能否研制超级计算机	16
第二章 智能信息化	17
2.1 人工智能	17
2.2 典型知识工程结构	19
2.3 软件知识工程与智能机器	29
2.4 认知模型的更新	32
第三章 认知模型的更新	34
3.1 Dempster-Shafer 证据体系	34
3.2 知识外延的认知模型	47
3.3 认知模型更新的后果	60
第四章 超级计算机结构	61
4.1 数据流机器的诞生及动因	62
4.2 神经网络机器	72
4.3 神经网络机中的数据结构	81
4.4 自适应相邻连接引起的问题	84
第五章 神经网络拓扑与最短路径	87
5.1 超立方体(HC)及二进制超立方体(BHC)	87
5.2 非 BHC 混合基数系统	88
5.3 群图中之最短路径	95
5.4 Dreyfus 及 Dijkstra 最短路径方法	98
5.5 失效与恢复及语义距离	102

第六章 神经网络的模拟	105
6.1 用 ADA 模拟神经网络	105
6.2 PDP 与 HTNSL 语言模拟	106
6.3 Partarnello 神经网络模型用以模拟条件化实验	122
6.4 关于神经网络的工程模拟	125
第七章 超级计算机的机器学习	127
7.1 机器学习什么	127
7.2 BOLTZMANN 规则与机器学习	128
7.3 BOLTZMANN 学习与智能温度加温规划	131
7.4 利用 Transputer 进行 BOLTZMANN 机的实验	132
7.5 Peretto 学习模型	141
7.6 语义学习与权学习的混合网络	146
第八章 超级计算机的激光化	148
8.1 激光的发生	149
8.2 激光干涉与全息技术	157
8.3 激光束的声-光偏转技术	163
8.4 激光增益猝灭与饱和吸收	168
8.5 半导体激光逻辑单元	173
8.6 神经元逻辑单元	180
8.7 激光“相关”运算硬件	184
8.8 非晶态薄膜的激光多元网络机	187
第九章 超级计算机的超导化	190
9.1 超导竞赛的背景——超级计算机	190
9.2 超导体计算机器件简理	192
9.3 LIL 器件	195
9.4 LIL 逻辑电路	218
9.5 中国能否研制超导计算机	222
附录一 当前智能机器指标与状况	223
1.1 关于新一代计算机的萌生与发展	223
1.2 重要的下一代尝试	224

1.3	SOAR 机与 FFP 机	238
1.4	记号传递、值传递与消息传递.....	243
1.5	日本的机器是什么	247
附录二	应用于超级计算机的非标准逻辑.....	251
2.1	模态逻辑(Modal Logic)	251
2.2	非单调逻辑(Non-monotonic Logic)	253
2.3	时态逻辑(Temporal Logic).....	255
2.4	模糊逻辑(Fuzzy Logic)	260
2.5	隐约的感觉——逻辑学家 $\neq$ AI 科学家	263
附录三	激光法拉弟效应信息处理.....	265
3.1	磁-光法拉弟效应读数技术	265
3.2	磁-光法拉弟效应记录技术	266
3.3	设备中几个主要技术步骤的讨论	267
参考文献		270

绪 论

超级计算机是当前国际计算机发展的主要趋向。除了速度上以几个数量级对普通计算机进行了超越之外,在信息上则进行了智能化超越、在结构上进行了神经网络化超越、在器件上以激光和超导体器件进行了超越。因此,超级计算机从功能上成为超高速数据—知识联合处理机。其程序的制备时间也大大缩短。但也引出了一系列新问题,即:神经网络机中的特殊拓扑问题;面对问题自适应连接的最短路径问题;机器学习中的 BOLTZMANN 学习问题;非逻辑化的 Dempster-Shafer 证据推理问题;器件中的激光与超导体用于超级计算机的问题……等等。

阅读本书时完全不能任意取其一节。全部内容都是紧紧围绕第一章所谈的主线的。第二章、第三章则是其信息模型之更新,特别是 Dempster-Shafer 证据理论模型更属该领域中最先进的理论。第四章阐述超级计算机的结构、贯穿其中的是如何为了“任务”而去改变结构。结构特别集中到神经网络机器上去。第五章则是面对神经网络机器中保证效率的连接最短路径与机器拓扑分析,这对设计机器是十分必要的。第六章则描述设计神经网络机器之前必要的网络模拟技术,主要是 HTNSL 语言的模拟。第七章是神经网络结构机器的最先进构成予连权的方法—BOLTZMANN 学习方法和内容。第八章则是有关利用激光器件实现超级计算机的技术基础及全光计算机的原理(而不是 1990 年贝尔实验室的半光学计算机)。第九章则是利用超导体约瑟夫逊结器件,特别是 IJL、QFP、TACO、ICA、E—TACO 实现很特殊逻辑的基本分析。这也是超高速机器中十分重要的。

为了避免正文过于繁杂,一部分内容放在附录一~三中。

书后附有参考文献,而最重要的紧密结合本书内容的文献则

我已在书中以注解的方式专门指出。

我认为全书真正围绕的目的是为“完成超级计算机设计”提供系统化的技术,也许,经过一些努力之后我国可能会在一、二年后大步走上本书提出的机器开发的。我相信不会重复我在1956年提出人工智能后直到1979年才得以重新起步之痛苦经历。

第一章 计算机的超级化

计算机发展至今已为人们瞩目为 20 世纪最重大的发明之一。时至今日,它的应用遍及管理、控制、军事、C3I、数据处理、知识工程……各个领域。

但是,尽管计算机发展与应用已取得极其重大成就。我们仍然可以发现现行计算机有很多缺点,以致于它们仍很难满足许多工作的要求。这就迫使人们着眼于“超级化”计算机。这是近十年来人们在计算机上最主要的工作。

然而,由于日本人在各词上杜撰得太多,以至于超级计算机在不同人有不同理解。我们指的是:

1. 有超高的计算速度与容量;
2. 在数据处理之外,主要拥有强有力的知识处理能力;
3. 逻辑之外的非逻辑处理的支持能力。

因此,这几个特点就从根本上改变了计算机的面貌。

1.1 什么叫计算机的超级化

如前述,计算机的超级化主要指在信息处理上的超高速化、超大容量化;基本结构的非冯·诺意曼化;处理能力上的扩大至非逻辑化;处理对象的扩大至知识(而不仅是数据)工程化。

这些恰恰满足当前人们对计算机感到不足之处。当前计算机表现出若干缺陷。这就是:

(1)在处理超大型数据库及超大任务时,不论从时间、空间方面看都是不足的;

(2)在处理实时性任务时,速度极端不足(特别是在军事与很多工程控制及超大规模管理系统中表现更为突出);

(3)在处理知识上显得十分有缺陷,因为现行计算机缺乏智

能；

(4)在知识处理上,由于知识的处理往往是超越了逻辑的。而现有机器则全然是基于二进制逻辑的；

(5)冯·诺意曼结构的机器已全然不适合当前的进一步需求。

针对上述缺陷,近若干年来人们作了很多努力,这些努力主要是集中在从结构上、支持器件上、支持原理上对机器进行带有根本性的改变。一般将之概括为“三个非”,即:

(1)非诺意曼机器结构；

(2)非单调逻辑；

(3)非逻辑机器。

我们面临的恰恰是这样一个时期!旧有的机器在被使用,潜在的机器已在悄悄地开发,这种换代不同于过去仅凭支持器件的不同而划为所谓第一代、第二代、第三代、第四代。这种换代则是从功能上、支持原理上、支持器件上、支持结构上全面的换代。日本人的说法“FGCS”乃至其“人体计划与第六代机器”本身是一种炫耀的华而不实的说法。

1.2 为什么用“超级”这个形容词

超级(Super)这个形容词带有从根本性上超越一层次的意思。日本人的说法则仅指在速度上大大超越现有计算机。日本人另一个说法是指采用超导体逻辑器件,因此,其“超”表示“超”导体(Super-conductor)。我们综合种种说法而采用“全面超越”的定义。

全面超越的大致轮廓是指以下数点:

1. 速度上的超越

速度上的超越可以有两层含义,一个是指从根本器件上的变化而带来的速度超越。众所周知,电子流载运信息的速度由于电子有质量因之有惯性,这就带来速度上的限制。超级计算机则使用量子流和其它新物理效应器件以克服这一缺点。例如:超级计算机使用基于光子(Photon)的全激光器件、基于电子偶隧道效应的超导体约瑟夫逊器件等等。这些基于新物理效应的器件即使机器结构

全同也会使机器速度发生几个数量级的提高。

另一个速度超越是指机器用法的不同,普通机器的使用当然远远不是仅指其程序执行速度 t_3 而言。我们很难容忍一种情况,即:机器执行时间仅为 10 秒而程序准备(设计及编译)时间 t_1, t_2 却可能是 3 个月或更多。如果是这样,综合解决问题的时间 T 即为

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 3 \text{ 个月} + 10 \text{ 秒}$$

这就使得单纯提高机器执行速度变得毫无意义了。减少 $t_1 + t_2$ 时间反而成了提高机器速度的根本障碍。但减少 $t_1 + t_2$ 时间牵涉到从功能上、结构上改变机器的问题。

2. 功能上的超越

如果想使机器从 $t_1 + t_2$ 上大大缩短,就牵涉到几个问题:

- (1) 使机器面对问题可以自己找到最优算法;
- (2) 机器可以在自行选择的最优算法上自动生成解决问题程序。

但是,机器如果拥有上述能力则机器已经是一种智能机器(或者严格地说:机器有两个 phase,第一个 phase 是智能 phase,在这段时间内机器作的是对问题解决算法的自动选择和使其生成可执行的解决问题程序。在这段时间内,机器不是在处理数据而是在处理知识)。只有在第二个 phase 中机器是在执行它自己生成的程序。这是大大有别于一般机器的。人们往往忽视 $t_1 + t_2$ 时间而只着眼于 t_3 ,这当然是不可取的。就机器作数据处理的前阶段而言机器应具有强大的智能。

当前,另一个世界(即“事实世界”—Real World)表现出要求解决的问题似乎更多,而不仅是在执行数据处理之前的前置阶段。例如:

- 如何使一个管理决策能以最低风险最大收益产生;
- 如何保证在当前兵力、物资、地利、天时条件下以少胜多?
- 如何在企业战中巧妙地利用关税、舆论、法规、预测,而达到最低损失地占领市场?
- 怎样才是最成功的培训人才之路?

- 在现有人力、物力、时间周期内作出可以满足指标的设计？
- 在制造过程中什么是最佳工艺规程？
- 在交通调度中最有利的规划是什么？

⋮
⋮
⋮

这些问题的解决有赖于对很多知识进行处理而不是对数据进行处理。由于事实世界是我们生存的世界当然有更多的问题要求我们解决。而过去人类沿袭使用自然大脑来解决这种问题，但今天，现代社会的问题十分复杂与庞大，牵连甚多并且往往要求解决很迫切。这就迫使人们必须考虑机器的另一个大领域——非计算机器（智能机器）。用一般智能软件在数据处理机器上运行以解决事实世界问题并不是不可行，但由于机器并不是为事实世界问题求解而设计的，因此十分勉强。众所周知，解决问题使用软件速度大大低于用硬件支持。这也大大强化了人们考虑对机器功能上硬件化来解决事实世界问题的意识，也就是说：尽快开发智能计算机或知识/数据处理两用计算机以满足两个世界问题的自动解决。

机器的智能化是另一个层次上超级化的方面。

3. 结构上的超越

如果机器功能上要求超级化——不仅是数据处理的高速化，而且还有知识处理的智能化与高速化——就不仅在器件上需要做工作。相应地，机器的结构也会因为机器开发目的的不同也得有根本性的变化。

目前最主要的机器结构变化主要体现在神经网络式结构上（Neuro-network Structured Computer）。神经网络式机器是多处理机，但却是自适应连接型机器。这种自适应是面对问题自行适应并以最短语义途径连接的高效率结构机器。它很不同于 Systolic 机器。当前针对神经网络机器的设计已发展了很多新技术。

关于数据流机器（Data Flow Machine），由于其概念早在60年代即已提出，而且它的提出也仅限于满足在一定程度上提高数据处理速度。所以，它本身并不能构成超级化的一个侧面。虽然，日本

人较多地提到这种并不新颖的机器结构。但,本书则不拟在此列入研究。我们认为这是一种比较过时的结构并不能大幅度促进超级计算机的发展。

在超导体机器中,由于器件的变化引起了机器结构上向CPC(循环流水线机器)方面发展,这种结构到十分新颖。

为了适应高速智能化的要求,一种“映象机器”将会发展。

4. 非逻辑化的超越

几乎从巴贝及(Babbage)或布尔(Boole)直到今天,尽管器件上变化很大,但计算机本身仍然没有摆脱二进制逻辑模式。

虽然,我们从事实世界的问题解决来看,很多问题的解决过程都不是简单的单调谓词逻辑能够解决的。大量非单调性迫使人们去研究非单调逻辑(Non-monotonic Logic),但收效甚微。正如John McCarthy在1987年所谈的那样,如图1.1所示。

潜在的解决基理可能仍将由新型计算机去解决,而这种机器将不是逻辑的。

即使在目前,由很多专家系统所趋向的最佳推理技术——Dempster-Shafer 证据系统——来看也很难认为它是逻辑的。

非逻辑的方法与非逻辑的机器已是可能的最大救星,这种前景虽然是很清楚地摆在了我们面前。这当然并不奇怪,很难设想相当复杂的事实世界问题会被纳入简单的判定——真或假——的体系中。由简单的真或假来看,我们的计算机并没越出136年前的布尔体系。但事实上,这种体系虽然是漏洞百出。那么,超越这个体系也就无足为怪了。

如果在以上四点上都对现有计算机进行了超越,那么,我们将得到真正速度极快、功能极强、但完全不同于当前计算机的另一种机器,这就是我们在全方位上称之为“超级计算机”的含义。

1.3 在超级计算机上已作的尝试

人们早已看到了以上所描述的问题,并且早就力图实现超级机。但实验都是分步进行的。首先作的是逻辑机器的超级化,然后

就在向非逻辑化前进。近十年来的成果应该说是“硕果累累”。但今后却还有漫长的路要走。

The relation between nonmonotonic logic and on the one hand and probabilities or Dempster Shafer on the other is more complicated than just competition. Namely, nonmonotonic reasoning is required to form the propositions to which probabilities are to be assigned. A = Assumption-based Truth Maintenance System. TMS and ATMS are in use in expert systems, but most work in nonmonotonic logic is still in the basic research stage.

Jon Doyle, CMU
Johan De Kleer, Xerox PARC

图1.1 John McCarthy 关于非单调逻辑使用状态的亲笔手书

从器件上讲,1984年日本 E. Goto 首先提出 IJL(电感约瑟夫逊逻辑)器件并达到开关速度每秒100亿次,日本日立中心实验室作出 QFP 量子磁通参数管门器件延时仅为1ps。这种基于超导效应的器件使机器速度大大提高。而以激光为基础的神经元(Neuristor)器件、非晶态器件发展也很快而且是相对论速度的。但美国贝尔实验室的激光计算机仅为光-电组合机器,其速度仍受转换为电子流后的影响。

从功能上讲,主要工作是集中在智能化方面的。这方面的机器就十分之多,如美国的 LISP 机、SKIM 机、MAGO 机、THISTLE 机、