

面向二十一世纪的超级计算机

于功弟 (西南交通大学)

摘要: 本文介绍了超级计算机的基本概念。重点叙述了神经网络计算机、超导计算机和光计算机的发展。

一、超级计算机的基本概念

今天尽管计算机发展和应用已取得极其重大成就,但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。这就迫使我们研究“超级”计算机。超级(Super)这个形容词带有从根本性上超越一层次的意思。目前比较一致的看法是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·诺依曼化;处理能力上的扩大至非逻辑化;处理对象的扩大至知识工程化。显然超级计算机本身就带有全面超越的定义,其主要特性可基本归纳如下:

1. 速度上的超越

速度上的超越是指从根本器件上的变化而带来的速度超越。超级计算机将使用量子流和其它新物理效应器件来提高速度,如使用基于光学(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、硅光导器件、分子器件和生物芯片等。这些基于新物理效应的器件即使机器结构相同也会使计算机速度发生几个数量级的提高。

2. 功能上的超越

对于超级计算机,提高机器功能的主要方向是智能化,它主要涉及两个问题:

- (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的程序。

如果实现这级超越,超级计算机处理问题将会分成两阶段:第一阶段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;第二阶段机器是在执行它自己生成的程序。显然就机器作数据处理的前阶段而

言,机器应具有强大的智能。因此,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度,而且还有知识处理的智能化与高速化。为了实现这个目标,不仅在器件上需要做工作,相应地机器的结构也必须随机器开发目的的不同有根本性的变化。

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。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。当前针对神经网络机器的设计已发展了很多新技术。

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,这种结构十分新颖,很有前途。而在光计算机中,人们正在实现一种全新的结构格式和互连方式。利用光学的高度并行性,设计一种并行网络结构,从而实现三维运算。另外,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

目前计算机在发展进程中,尽管器件变化很大,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,许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,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,目前的计算机并没越出100多年前的布尔体系。为了超越这个体系,就必须研究非逻辑方法与非逻辑的机器,它已成为超级计算机的主要研究内容之一。

综上所述,如果新一代超级计算机在以上四点都能对现有计算机进行超越,那么将会诞生一种真正速度极

快、功能极强,但完全不同于当前计算机的全新计算机,这就是我们称之为“超级计算机”的含义。神经网络计算机、超导计算机和光计算机都可望成为超级计算机的重要成员。

二、神经计算机

神经计算机(Neuro Computer,有时简称为NC)也称为神经网络计算机,意思就是按照神经网络的功能结构原理而构造成的计算机。神经网络是一类巨型非线性动力系统。从当前研究目标看又可分为专用神经计算机和通用神经计算机。对于通用神经计算机,由于砷化镓(GaAs)、约瑟夫森、Bicmos文件的实用化,最可能在本世纪末实现,而专用神经计算机的实现则较大地依赖器件技术的实用化。

从当前人们对神经计算机的研究和构想来看,神经计算机具有以下一些主要特点

(1)从结构上看,它按连接主义原则,采用分布的并行信息处理和存储方式,没有现行计算机的集中处理单元CPU,信息处理和存储都由大量结构简单功能相同的人工神经元及其连接权来实现。

(2)从处理的对象来看,它适合于处理连续的、模糊的和随机的信息。它应像人脑日常处理感官所接收的非严格数字化信息,并及时作出非精确的应变控制那样,总是以找到满意解为基本要求。由于不存在找绝对精确解的苛求,因而能有效地节约处理信息,作出决策判断的时间。

(3)从功能作用看,它不像现行计算机那样,只能被动地执行预先编好的程序,而是能在一定的网络拓扑结构下,通过训练或对周围环境的适应,进行自组织和自主学习。

(4)从应用领域来看,它和现行计算机之间不是取代的关系,而是各有所长互为补充。一般来说,按形式化方法进行逻辑推理和精确数值计算的场合,现行数字式计算机能够显示出巨大的威力;而在一些形象化的信息处理业务,如图象处理、语音识别、模糊判释、自适应控制以及组合优化等方面神经计算机将发挥它的优势。

目前实现神经计算机的方式有全硬件方式和软件模拟方式两大类。全硬件方式包括集成电路式(有数字式、模拟式、数模混合式和硅光导元件式之分)、光学式(有光

电混合式和全光学式之分)以及在将来有可能实现的分子处理器式和量子处理器式等形式。而软件模拟方式是在利用现有计算机的基础上,来完成神经网络所具有的功能。

由于建立在神经网络信息处理基础上的神经计算机体系结构问题则是近年来才被提到日程上来的技术课题,所以目前大多数这方面的研制工作,均在现行计算机上,用软件仿真方式开展。一般采用三种形式:在现有的各种计算机上建立适合于模拟神经计算机模型的各种软件环境;在通用计算机上插入NN加速板形成神经计算机工作站;建立专门适于神经计算机的并行处理器阵列机。这种阵列常由大量的DSP芯片、EPP芯片或Transputer芯片按一定拓扑结构连接而成。也有人研究提出采用systolic结构或petrinet形成这样的阵列。

目前研究神经计算机需面对的问题:

(1)现有有人工神经网的系统复杂性总是低于天然神经网络的复杂性。因此人工神经网络的系统功能远低于天然神经网络。

(2)神经网络的研究与应用必须有相应的硬件基础,神经计算机的实现较大地依赖器件技术的实用化。而目前新型器件技术还处于试验研究阶段。

(3)由于神经科学、心理学集群方面的研究,为人工神经网络的研究与应用奠定背景知识或提供仿生依据;数理科学的研究提供了探索复杂动力系统的研究手段;微电子学、计算机科学技术和光学计算机技术、甚至生物工程为神经网络的物理实现提供了手段、技术、器件和系统。因此神经网络的发展将受约于上述三个领域或科研集群的协同发展。

三、超导计算机

近年来,国际上掀起了研制常温超导体的热潮,并提出了研制超导计算机的计划和目标。这是因为超导体约瑟夫逊结器件能提供超过当前任何器件的逻辑器件的速度。理论上讲,它有可能在IPS时间(10^{-12} 秒)开关一次。那么在理论上计算机可提高至每秒1万亿次操作,如果又将其变为多处理神经网络在高度并发情况下工作,则这种超级计算机工作速度就会使计算机发生一次质变。目前问题的焦点是:如果能解决超导体的超导现象只能在超低温下发生的问题,则人们立即可以推广带

有质变速度的超导超级计算机。

自从 1967 年 matisoo 提出利用超导约瑟夫逊隧道器件以来,超导计算机器件已经历了很多变化,早期人们的研究重点是在 RJL(电阻约瑟夫逊逻辑),80 年代中期转向 IJL(感应约瑟夫逊逻辑),通过研究表明,使用 RJL 变阻效应器件可使计算机获得 1000~2000 亿次/秒。但人们仍不满意,1984 日本人 E.Goto 提出了 IJL,他认为运用电感与超导的联合作用可以进一步提高开关速度并减小功能。从此,超导器件的研究向量子器件前进,IJL 元件集成了非线性电感器、约瑟夫逊结与互变压器构成。其中输入/出利用的是磁通性器件。这种器件叫做 QFP(Quantum Flux Parametron)。输入 QEP 将信号传入 IJL 处理后经另一个 QEP 输出。两者之间的耦合是磁通。利用 QEP 可以实现逻辑“AND”、“OR”、“ON”以及特殊逻辑。

1985 年 k.shimizu 根据 IJL 之特点提出了循环流水结构(CPC)计算机。这种结构由于 IJL 之门控制随门销特性而显得特别适合。该机器是用 QEP 作的“磁通陷井环路”形成的环状流水线内存。这种 CPC 以分时方式支持多指令流——多数据流(MIMD),速度大约在 10GHz。日本人的计划是利用它建成 1000 万个细胞的 CPC 环状神经网络计算机。CPC 是基于 QEP 器件的销特性作成的。CPC 的结构实质是 M 个多处理机共享存储器的结构。

在 CPC 中每个处理机还有其局部伴随存储器,以存储前面计算之结果和经过学习规则学习到之权值,故所有前置处理机之权输入之和共同计算了其传递路径。所以,CPC 结构也在构成神经网络机器。目前 CPC 机的速度是 10GNOPS(即 100 亿次神经元操作/秒),正在研究的方面是对其计算的改进,主要是间接寻址方面对弥散矩阵(Sparse matrix)采用有限元法与 FFT 之结合。QEP 及 IJL 之出现造成了循环式神经网络机的出现,也就大大改变了其结构。这方面的拓扑研究也就不同于 CONNECTION 机之类。从目前研究结果看,CPC 计算机结构还没彻底摆脱现代计算机的影响,但 CPC 机开了超导约瑟夫逊结器件实用于环形流水神经网络之先声是很有前途的。可以预见随着研究的不断深入,到下个世纪初一定会有更先进结构,采用更新超导器件的超导计算机投入实用。

四、光计算机

在现行计算机中,若利用光学元器件代替部分电子元器件;利用光学互连的方法取代部分电子学互连的方法,确实可解决某些方面的困难,这无疑是对现行计算机的重大改革。然而,这种代替只是对电子学的一种协助和补充,并未脱离电子学的一套格式。若能充分利用光的独特优点,进一步开发这种特性的潜力,就可以用一种全新的设计思想来实现一种全新的结构格式和互连方式。利用光学的高度并行性,可以设计一种并行网络结构,从而设计出一种可实现三维运算的崭新计算机——光计算机。

光计算机是利用光的一些基本特性。因此,它有现行计算机无法比拟的优点:

- (1)具有并行传输和处理信息的能力。
- (2)无 RC 问题,运算速度快。传输光的介质,如光纤、光波导不存在寄生电阻和电容,因此在光波导中传导的光信号速度要比电子线路中传导的电信号速度要高数百倍。
- (3)可采用非二进制逻辑。光器件已突破了双稳态,出现三稳态、多稳态器件,因此可采用三进制、四进制逻辑,从而大大提高运算速度。
- (4)无时钟歪斜。光在介质中传播速度极快。所以不同的互连长度,它们之间时延差也是极小的,从而无时钟歪斜。
- (5)光波导或光器件的空域带宽和时域带宽都非常大。空域带宽并行处理能力强,时域带宽传输信号密度大、数据传输速率极高。而光波导系统的空域带宽和时域带宽的乘积是非常大的。可利用这优点,构成巨大的信道和互连线,高速地完成大量的计算。
- (6)无接地电位差。光计算机是绝缘体,不存在接地问题。
- (7)利用全息或光盘作计算机的外存。它的信息容量大大高于现用磁盘。
- (8)抗干扰性好。一般的外界电磁干扰频率都远远低于光的频率波段,因而光不受外界电磁场的任何干扰。

由于光计算机有着如此多的优点,因此一旦成功,超级计算机智能化便可成为现实。所以,国内外一大批科

学家正在致力于这方面的研究。近几年来有了突破性的进展,光晶体的出现给人们带来了新的希望。

从目前研究情况来看,光计算机的结构类型可分为模拟式光计算机、非程序控制光计算机、程序控制光计算机及模拟和数字混合光计算机。从光计算机发展的历史看,模拟机早于数字机。实现模拟计算的光学系统被称为光学模拟系统,该系统的输入、输出函数一般多采用图像的二维强度透过率函数。许多我们所关心的运算,例如图像的相加、相减、相乘、傅里叶变换、相关、卷积、甚至微分及其它复杂变换等,都能利用光学模拟系统来实现。随着激光器的问世,以及全息术、光信息处理技术的兴起,数据光学计算机便开始引起人们的兴趣。光学模拟计算渐渐被新兴起的光学数字计算的研究所取代。而随着人工智能研究的兴起,光学模拟计算机又重新被考虑,它的突出的优点仍然吸引着人们的极大兴趣,最引人注目的特点是这种计算处理信息的方式与人类大脑处理信息的方式十分相似。特别是神经网络物理模型的提出以及随之而来的一系列全新算法的出现为光学模拟计算开辟了新的途径,加之各种新型实时材料的问世又为光学模拟计算软件增添了灵活性。这一切都进一步挖掘了光学模拟计算的潜力,并开拓了它的广阔应用前景。从目前的研究情况看,虽然光学模拟计算还不可能取代光学数字计算,但已经可见到它与光学数字计算并驾齐驱的势头和希望。

在未来的光计算机中,互连问题同样是一个十分关键的问题,它在一定程度上决定着计算机的总性能,因而已引起人们广泛的兴趣和关注。从光学互连的方式看,因所利用的传播介质不同,大致可分为三类:自由空间互

连、光纤互连和集成光波导互连。在实际应用中,上述三种互连方式并非能截然分开,特别是在较为复杂的网络结构中,将更需要多种互连方式来实现特定的互连功能。目前已设计出的光学互连网络有:纵横互连网络、close 网络和多级互连网络。就目前的发展情况看,发展全光型的互连方式已成为必然趋势。无论从近期目标还是长远目标来看,解决运算速度最根本的问题,一是要在器件制作技术上有所突破;二是要在算法上及互连方式上有所突破,开拓出新的路子来。另外,光学人工智能的研究也是近年来刚刚起步的新领域,虽然在理论和技术水平上还存在种种障碍,但它的前景是广阔的,它已成为光计算机研究的一个重要组成部分。可以预言,到下个世纪初,作为超级计算机的光计算机将会获得突破性的发展。

参考文献:

- [1] Kohonen T. *An Introduction to Neural Computing. Neural Networks*, 1988, 1(1)
- [2] Hwang, K. *Advanced parauel processing with Super Computer Architectures, Proceedings of the IEEE*, Vol. 75, No. 10, 1987
- [3] Shimizu, K, E. Goto and S. Ichikawa. *CPC(cyclic Pipeline Computer) — An Architecture Suited for Josephson and pipelined — Memory Machines. proc.of the 4th RIKEN symposium on Josephson Electronics*, pp. 10-29, 1987
- [4] A.A Sawchuk and T. C. strand. *Digital optical computing. proc. IEEE*, Vol. 72, No 7, 1984 P758~ P778