

关于并行硬件和软件的调研报告

钟腾

摘要：本报告通过网上和线下收集资料等方式对并行硬件和软件进行了一个相关调研，其中关于并行硬件的调研主要包括超级计算机发展历史、以天河二号为代表的超级计算机的体系结构和身边电子产品的并行架构，关于并行软件的调研主要包括并行软件的发展历史、戈登贝尔奖的历史、计算机断层扫描（CT）图像重建中使用到的并行技术。

关键词：并行架构;超级计算机;戈登贝尔奖;计算机断层扫描

Research report on parallel hardware and software

ZHONG Teng

Abstract: This report conducts a related survey on parallel hardware and software through online and offline data collection. The research on parallel hardware mainly includes the history of supercomputer development, with Tianhe No. 2 Representing the architecture of supercomputers and the parallel architecture of electronic products around them, the research on parallel software mainly includes the development history of parallel software, the history of Gordon Bell Award, and the parallel technology used in computer tomography (CT) image reconstruction. .

Keywords: parallel architecture; supercomputer; Gordon Bell Award; computed tomography

并行计算（Parallel Computing）是指同时使用多种计算资源解决计算问题的过程，是提高计算机系统计算速度和处理能力的一种有效手段。它的基本思想是用多个处理器来协同求解同一问题，即将被求解的问题分解成若干个部分，各部分均由一个独立的处理机来并行计算。并行计算系统既可以是专门设计的、含有多个处理器的超级计算机，也可以是以某种方式互连的若干台的独立计算机构成的集群。通过并行计算集群完成数据的处理，再将处理的结果返回给用户。为了深入理解并行程序与设计，有必要对并行的硬件与软件进行相关的调研。

1 超级计算机发展历史

“超级计算(Supercomputing)”这一名词在1929年《纽约世界报》关于“IBM为哥伦比亚大学建造大型报表机(tabulator)的报道”中首次出现。是一种由数百、数千甚至更多的处理器(机)组成的，能计算普通PC机和服务器不能完成的大型、复杂课题的计算机。

把普通计算机的运算速度比做成人的走路速度，那么超级计算机就达到了火箭的速度。在这样的运算速度前提下，人们可以通过数值模拟来预测和解释以前无法实验的自然现象。

自1976年美国克雷公司推出了世界上首台运算速度达每秒2.5亿次的超级计算机以来，突出表现一国科技实力的超级计算机，堪称集万千宠爱于一身的高科技宠儿，在诸如天气预报、生命科学的基因分析、核业、军事、航天等高科技领域大展身手，让各国科技精英竞折腰，各国都在着手研发亿亿级超级计算机。

对巨型计算机的指标一些厂家这样规定：首先，计算机的运算速度平均每秒1000万次以上；其次，存储容量在1000万位以上。如美国的ILLIAC-IV，日本的NEC，欧洲的尤金，中国的“银河”计算机，就属于巨型计算机。巨型计算机的发展是电子计算机的一个重要发展方向。它的研制水平标志着一个国家的科学技术和工业发展的程度，体现着国家经济发展的实力。一些发达国家正在投入大量资金和人力、物力，研制运算速度达几百万亿次的超级大型计算机。

某些分布式运算把丛集超级运算推至极限。例如SETI@home计划现在平均有667.716 TeraFLOPS运算能力。2009年4月，Folding@home声称拥有超过8PFLOPS运算能力。GIMPS运算能力也高达18TFLOPS。Google的搜寻引擎系统Google server farm总处理能力界乎于126及316TFLOPS之间。Tristan Louis估计这个系统等于32000至79000台双2 GHzXeon电脑。由于散热问题，Google的搜寻引擎系统应该属于网络运算。

新一代的超级计算机采用涡轮式设计，每个刀片就是一个服务器，能实现协同工作，并可根据应用需要随时增减。单个机柜的运算能力可达460.8千亿次/秒，理论上协作式高性能超级计算机的浮点运算速度为100万亿次/秒，实际高性能运算速度测试的效率高达84.35%，是名列世界最高效率的超级计算机之一。通过先进的架构和设计，它实现了存储和运算的分开，确保用户数据、资料在软件系统更新或CPU升级时不受任何影响，保障了存储信息的安全，真正实现了保持长时、高效、可靠的运算并易于升级和维护的优势。

2 以天河二号为代表的超级计算机的体系结构

天河2号由16000个节点组成，每个节点有2颗基于Ivy Bridge-E Xeon E5 2692处理器和3个Xeon Phi,累计共有32000颗Ivy Bridge处理器和48000个Xeon Phi,总计有312万个计算核心。

每个Xeon Phi使用其中的57个核心，而不是使用全部的61个，因为使用61个在运算周期协调方面会有问题，而使用57个核心能够加速4个执行线程，并且在每个线程单周期可以达成4Gflops的运算量，运行在1.1GHz的Xeon Phi可以生产1.003 Tflops的双精度运算能力。如果考虑CPU, $2 \text{ Ivy Bridge} * 0.2112 \text{ Tflop/s} + 3 \text{ Xeon Phi} * 1.003 \text{ Tflop/s} = 3.431 \text{ Tflops}$, 2个Ivy Bridge+9个Xeon Phi单个节点可以有3.431 Tflops运算能力，16000个节点总计可达54.9PFlops性能。每个运算节点有256GB主存、而每个Xeon Phi板载8GB内存，因此每个节点共有88GB内存，总计16000个节点一共有1.404 PB内存，而外部存储器容量方面更是高达12.4PB。

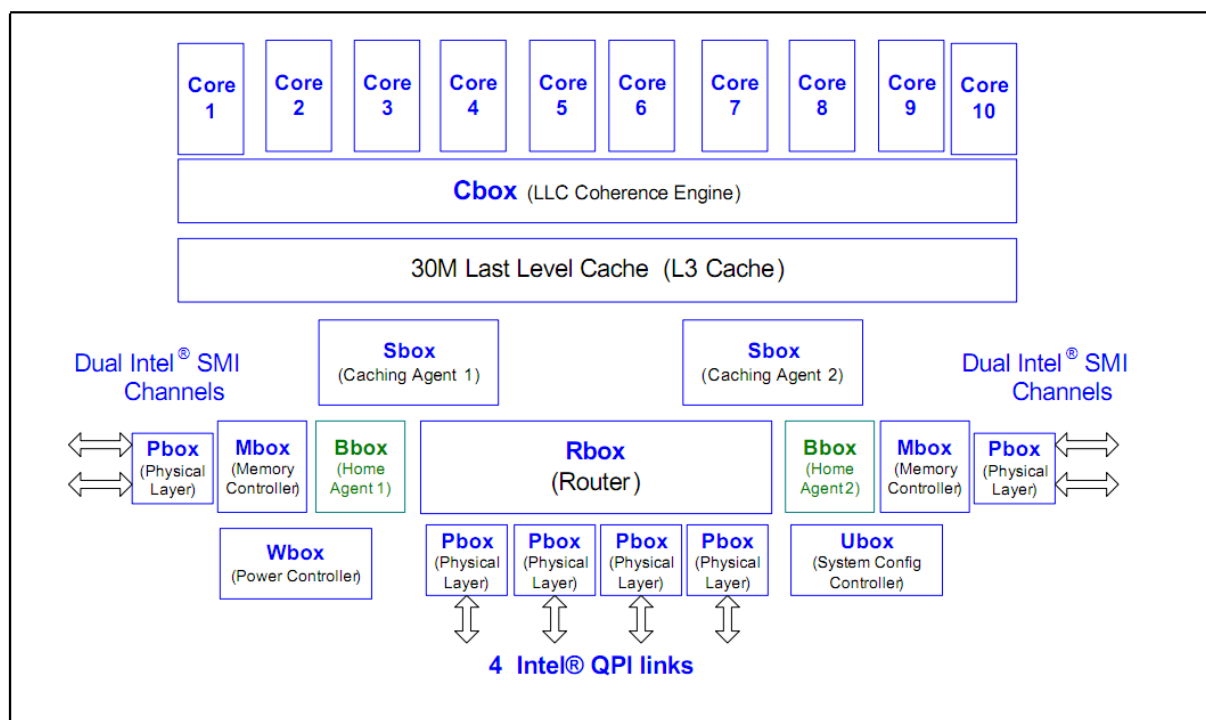
天河二号超级计算机系统由170个机柜组成，包括125个计算机柜、8个服务机柜、13个通信机柜和24个存储机柜，占地面积720平方米，内存总容量1400万亿字节，存储总容量12400万亿字节，最大运行功耗17.8兆瓦。天河二号运算1小时，相当于13亿人同时用计算器计算一千年，其存储总容量相当于存储每册10万字的图书600亿册。相比此前排名世界第一的美国“泰坦”超级计算机，天河二号计算速度是“泰坦”的2倍，计算密度是“泰坦”的2.5倍，能效比相当。与该校此前研制的天河一号相比，二者占地面积相当，天河二号计算性能和计算密度均提升了10倍以上，能效比提升了2倍，执行相同计算任务的耗电量只有天河一号的三分之一。

3 身边电子产品的并行架构

3.1 多核CPU

多内核处理器架构是指：芯片设计工程师在单个处理器中集成两个或多个“执行内核（即计算引擎）”。多内核处理器可直接插入到单一处理器基座中。但是，操作系统会把它的每个执行内核作为独立的逻辑处理器，为其分配相应的执行资源。要利用多核处理器的运算能力，需要改写操作系统和编译器，广泛使用的vista, win7 等都能支持多核体系架构。

Figure 5-1. Intel Xeon Processor E7-8800/4800/2800 Product Families Block Diagram



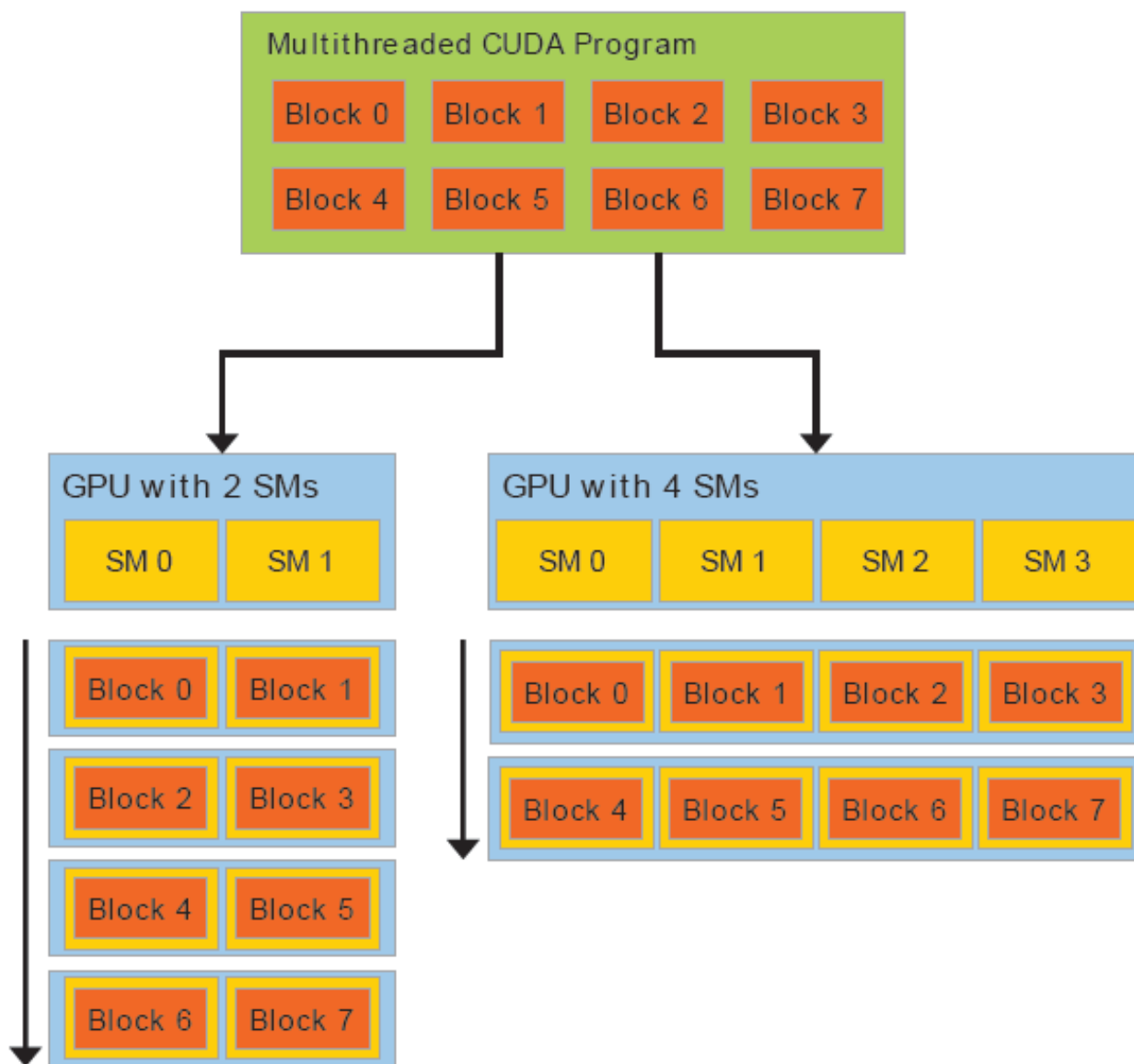
一个多核处理器架构例子

3.2 单核内的并行

单核CPU的并行是伪并行。首先考虑的是既然要实现多个任务并替使用cpu，而一个任务在大多数情况下，不可能在放弃cpu前已经执行完毕其代码。这样，任务就需要保存运行的状态信息，其备再次执行时恢复这些信息，使得就如同执行中没有发生中断。任务的状态信息，除了保存在task_struct结构中的信息外，还包括执行代码执止时的代码地址，执行各种运行的局部变量，参数等待，这些一般都保存在处理器内的寄存器以及堆栈中。

3.3 GPU并行架构

GPU 并行编程的核心在于线程，一个线程就是程序中的一个单一指令流，一个个线程组合在一起就构成了并行计算网格，成为了并行的程序。



一个GPU并行架构的例子

4 并行软件发展历史

自1989年R. I. Winner提出并行工程(Concurrent Engineering)思想以来，对于并行工程的理论研究和实践应用已取得了长足的进步，如美国McDonnell Douglas, AT&T, HP, IBM 等公司把并行工程思想应用于产品开发过程中均取得了极为显著的效果，作为并行工程的重要环节，并行设计(Concurrent design)的研究也取得了重要进展，并在产品开发工具DAD / cAM 软件中得到了有力的支持，其中比较成功的有PTC公司的Pro- Engineer、CV公司的CADD5和AutoCAD公司的WorkCenter等软件，这些软件通过用产品数据管理或项目管理的方式初步实现对多学科开发小组并行工作方式的支持。

5 戈登贝尔奖的历史

戈登贝尔奖（GORDON BELL PRIZE），设立于1987年，主要颁发给高性能应用领域最杰出成就，通常会由当年TOP500排行名列前茅的计算机系统的应用获得。

美国盐湖城举行的2016年11月17日全球超级计算大会上，由中国科学院软件研究所研究员杨超等人凭借“千万核可扩展大气动力学全隐式模拟”研究成果一举获得国际高性能计算应用领域最高奖戈登贝尔奖（ACM Gordon Bell Prize），实现了中国在高性能计算应用此奖项上零的突破。

6 计算机断层扫描（CT）图像重建中使用到的并行技术

计算机断层扫描（Computed Tomography,CT）图像重建领域主要存在两大类方法：解析法与迭代法。当投影数据采集不完备或者存在较大噪声时，解析法重建出的图像很难达到临床诊断要求。此时，以联合代数重建技术（Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique,SART）为代表的迭代算法成为首选，但 SART 非常耗时，在对实时性要求较高的场合，难以得到实际应用。近些年来，为了能够缩短重建时间，众多学者开始从硬件结构、基于硬件的软件加速以及并行运算等方面入手进行了大量的深入研究。

1994 年，Calbral 等人在 SGI 工作站的通用纹理硬件上采用滤波反投影(Filtered Back-Projection, FBP) 方法重建出锥束CT图像。曾理等人在对螺旋锥束CT算法适当改进的基础上，利用工作站机群(Cluster of Workstation, COW) 并行加速重建出与串行算法相同质量的图像。Scherl 等人在图形处理器(Graphic Processing Unit, GPU) 上利用通用设备 计算架构(Compute Unified Device Architecture, CUDA) 较快 实现了 FDK(Feldkamp) 的并行重建; 在此基础上，Okitsu 等人采用减少片外存储访问、隐藏存储时延等技巧对 FDK 并行算法进行优化，缩减了近一半重建时间。Lu 等人亦对 SART 算法的并行化进行了富有成效的研究。

基于 CUDA 通用计算平台的 SART 并行实现方法的主要技术有: 1) 基于射线驱动的正投影技术; 2) 基于CUDA 的并行遍历方法; 3) 基于体素驱动的反投影技术。实验结果表明，这种基于 CUDA 并行实现的 SART 算法在不牺牲重建图像质量的基础上，时间性能得到极大提升，这有着较为重要的工程应用价值。

7 总结

综上所述，并行计算和程序设计越来越成为目前计算机软硬件发展的重要方向，掌握并序程序设计成为了现代软件工程师不可或缺的基本技能。

References:

[1] SHI Huai-lin, SUN Feng-rong, JIANG Wei, LIU Wei, QIN Tong, LI Xin-cai. CUDA based parallel implementation of simultaneous algebraic reconstruction technique. Journal of Computer Applications, 2011,31(5).[doi: 10. 3724 / SP. J. 1087. 2011. 01245]

[2]王琳，鲁晶晶，殷克功，关于并行计算在软件发展下的研究分析，科技信息2009年14期，TP338.6