**2022高性能计算机系统结构研讨题目(课程号：2XS081003学分:4)**

研讨题主要围绕以下方面

1. 计算器件： CPU GPU（\*PU） FPGA ASIC PHI等。注意：技术发展路线，趋势、 架构和工作原理
2. 并行编程：OpenMP、CUDA、MPI、Hadoop、spark
3. 并行技术：SIMD（MMX、SSE、AVX）、SIMT、超线程、流水线、分布式计算
4. 虚拟化：虚拟机、容器（Isula、docker）、软件定义存储/网络/汽车
5. 系统：集群、网格、云（计算、虚拟化）、大数据、智能计算
6. 管理：IPMI、集群管理系统、监控、作业管理系统（PBS、slurm）、容器编排（k8s）
7. 存储：Raid、存储层次、文件系统、并行文件系统（GPFS/lasture）、HDFS、NoSQL
8. 网络：以太网、专用网、Myrinet、IB/OPA、Roce
9. 智能计算框架和技术发展

纪律：严禁将qq盘私自给本课程之外的人共享和使用，严禁将qq盘中任何资料发布或共享到云上，严禁将研讨题分享出去。可以学qq盘中内容，严禁原样抄袭。安排好哪一周讲，必须遵守，有困难可以和其它组协商替换。可以对题目进行修改，但主题必须和课程内容相关，且必须在开讲前一个月与老师协商，进行题目和内容的商定。为了方便同学共享和学习，尽量将环境用Docker打包上传。题目的意义在于学习系统结构知识，有些器件，例如KNL如果效果不好不要紧，找出原因，数据不能做假。秋季学期结束前完成测试并到计算机学院809或者通过网络会议汇报结果的。通过过程考核，每组同学在冬季学期讲前，确定最终题目，报告内容，实验内容。

要求：每组4人，不要单独一人一组。按题号从小到大讲。由班长在各组选题后公布次序。每一题讲解30-35分钟，提问10-15分钟，如果有问题没有解决的，可以下次继续补充。每一题要求从文献、模型或原理、软件、硬件架构等各方面讨论，必须用软件或者自己编程进行验证。提交文档包括：PPT，word报告（要交纸质的和电子的），程序、软件的安装说明（尽量用jupyter notebook写），使用的所有软硬件说明等。要求通过提交的资料可以再现实验过程。其中ppt和word中需要包括key（按题目紧密相关的程度排序），模型，概念等，并且必须有详细的解释。可以提供自选题目，但是必须经过老师提前审核。

在讲解的同时如果能够转化成大家感兴趣的讨论的议题，并且大家热烈讨论，研讨成绩90+。

注：9月前确定分组和题目。确定后需要写好ppt确定报告的主要方向和内容，保证报告的质量以及不同组之间的重合度。相同知识点从不同角度，不同方法讲解，尽量避免讲述大家都熟知的内容，如果做在ppt里，可以略讲，或者直接跳过。

参考以下板块（至少需要包含以下的5个板块）：

1. 基本概念（key）
2. 基本理论
3. 问题和问题描述（发展历史等）
4. 环境（软硬件、版本等）
5. 程序框架（测试方法）
6. 测试和讨论
7. 结果（趋势判断）
8. 谈谈《中国革命史》学习过程中的学到的思想和方法和《计算机系统结构》的学习过程中运用到的相同或者相近的思想、方法。

注：如果题目中的内容和其他组的有重复，先讲的同学可以详细讲，后讲的同学需要略过相同内容，充实所讲内容。另外注意KNL（MIC-KNL-KNM现已升级为KNM）。KNM和FPGA，HPC中心都能提供，联系陶梁，相关设备不得未经允许借给其他人，发现违反的成绩取消。严禁用相关设备进挖矿，如果下载并安装相关软件导致系统染毒的，平时分数0分处理。

课程中希望大家热烈讨论，思考。

注意：所有题目除了理论之外，必须至少要和报告中提到的某一个技术做实验进行验证。

1. 中国的汽车出口量已经跃居世界第二，汽车已经向清洁能源和智能化发展。汽车工业发展会大量使用各种芯片，汽车工业的应用会影响系统结构的发展，请调研国际、国内汽车控制的主要芯片及相关软件，安装并演示感兴趣的软件。
2. 请分析功耗对系统结构的影响，调研计算机的各种器件例如CPU、GPU/\*PU、内存等功耗测试方法，并进行相关的测试和验证。
3. 最近百度智能云与英伟达合作新落地了新一代高性能AI计算集群，如何看待这次的合作，请全面的从这两家的技术方案以及应用进行分析。
4. CPU在发展时先后出现了超线程、mmx、sse、avx、tensor core，分析和比较这些技术的特点及发展历程和规律，并用程序进行测试。
5. tensor数据结构被大量用于深度计算，分析其原因，并用相关测试测试证明。调研[张量加速引擎](https://www.huaweicloud.com/zhishi/shengteng005.html" \t "https://www.huaweicloud.com/zhishi/_blank)（Tensor Boost Engine）。
6. 从CPU的发展历史谈谈多核CPU的出现，多核CPU的架构发展变化和特点以及趋势。Nvidia的GPU出现后首先抢占Intel在HPC领域（后又占领的大部分AI市场），特别是大数据的计算影响很大，Intel在自己的GPU方案失败后，推出了基于x86的众核MIC-KNL-KNM，从协处理器发展到主处理器，并在该处理器内集成了OPA（Infiniband网络）网卡。然而这一路线又被放弃，调研并分析Intel的CPU发展、规划应对，编程测试说明其优缺点。调研Intel最近的针对AI和HPC领域的产品。
7. 调研主要CPU厂商例如AMD、ARM、Intel的CPU核数、内存通道数量性能、功能变化（例如支持SSE、AVX、TensorCore）访存速度、网络模块、CPU Die和架构等各条发展技术分析CPU发展和趋势，并就相关技术进行测试比较。
8. 调研国内外\*PU和智能芯片的发展，总结异同。并和通用CPU在设计、制造、应用场景比较。并就相关技术进行测试比较。\*PU是否能形成通用架构和指令集，变成通用AI芯片，是否会和80年代IBM在PC上的指令、架构、生产的标准化，并推动全球PC的市场发展。
9. RISC-V是一个基于[精简指令集](https://baike.baidu.com/item/%E7%B2%BE%E7%AE%80%E6%8C%87%E4%BB%A4%E9%9B%86" \t "https://baike.baidu.com/item/RISC-V/_blank)（RISC）原则的[开源](https://baike.baidu.com/item/%E5%BC%80%E6%BA%90" \t "https://baike.baidu.com/item/RISC-V/_blank)[指令集架构](https://baike.baidu.com/item/%E6%8C%87%E4%BB%A4%E9%9B%86%E6%9E%B6%E6%9E%84" \t "https://baike.baidu.com/item/RISC-V/_blank)（ISA），调研其起源、特点和目前发展。在美国对芯片领域的控制加强后，我国、欧洲和世界各国都有什么布局？测试并分析。
10. 调研国内CPU厂商。CPU性能的提升，PC越来越便宜，服务器提供主要计算服务，并向云、数据中心聚集。网络端的PC和笔记本的市场被手机和平板抢占。调研相关产品，捋顺这些发展变化的规律。对相关软硬件技术进行分析，并实验验证。（注意和其它组讲的内容区分）
11. Nvidia将GPU从图像显示领域拓展到HPC领域（包括大数据分析。注HPC传统上认为主要在学术研究领域和部分大企业研究部门应用，应用范围有限。因此GPU在传统HPC领域开始不赚钱，赚名气，但是在大数据分析和虚拟桌面、AI计算、边缘计算等领域的开拓，赚大了，这些领域都是在工业界）。总结大数据计算的特点，GPU如何贴合大数据计算、AI计算、边缘计算（上述计算技术的发展调研一下）的发展？编程、测试说明。NV成长成巨型公司后买下 Mellanox（IB著名厂商）意图是什么？ Mellanox不能独立生存吗？压力在哪里？Nvidia买下后和现有产品有什么整合发展策略？
12. GPU虚拟化是云计算的关键技术之一，云平台利用GPU虚拟化技术可以灵活分配管理GPU资源。需要考虑如下五个工作：（1）调研GPU虚拟化的实现方法，了解不用GPU虚拟化技术的实现原理及其相关优缺点等。（2）Nvidia Grid是Nvidia官方推出的面向虚拟机的GPU虚拟化技术，调研Nvidia Grid支持哪些虚拟化管理平台（如VMware vSphere）以及Nvidia Grid支持哪些GPU实例类型(如vapp)，并说明这些实例类型适用于哪些场景。了解如何在一个虚拟化管理平台上安装Nvidia Grid并使用Nvidia Grid为虚拟机分配GPU资源（Nvidia Grid是付费软件，但可以申请企业免费试用。如果没办法成功申请企业试用，只需通过查阅文献资料，了解如何在一个虚拟化管理平台安装并使用Nvidia Grid即可。注意不同虚拟化管理平台安装Nvidia Grid方式可能不同，自行选择一个虚拟化管理平台进行了解即可）。(3）安装一种面向虚拟机的GPU虚拟化(如Nvidia Grid，PCI直通，GPU-PV等)，并使用该虚拟化技术为虚拟机分配GPU资源并在虚拟机上使用分配的GPU资源。(4）Nvidia MIG 是Nvidia官方推出的新一代面向进程的GPU虚拟化技术，了解如何使用Nvidia MIG限制进程的SM使用量和显存使用量（目前MIG技术只能用在A100和A30上，可以考虑去云服务商处租用一台云服务器进行实验。也可以查阅Nvidia MIG的官方文档，了解如何安装配置MIG，以及如何使用MIG限制进程的SM使用量和显存使用量即可）。（5）安装一种面向进程的GPU虚拟化技术（如Nvidia MPS，Nvidia MIG），并使用所选GPU虚拟化技术限制进程可以使用的GPU资源（如SM资源，显存资源）。

### NVIDIA在这些年完成了游戏卡--HPC卡---AI卡--开发板的华丽蜕变，有实力后收购了Mellanox，提出了DPU，分析这一布局，调研相关技术，并实验验证。

1. 调研FPGA在云计算、智能网卡和AI等领域的应用，并实验验证。试从功率、性能、价格、速度等比较CPU、GPU、FPGA，通过实验验证，和应用结合。分析架构特点。例如CPU、GPU、knm、FPGA内部的存储层次，请进行分析，并设计实验验证如何使用能提高运行效率。
2. 调研国家关于东数西算等政策、数据等，分析这些战略的作用，调研其中有哪些主要支撑技术，并用实验进行测试。
3. 调研曙光的DCU相关技术，并用ROCM进行编程和测试。
4. 调研曙光的DCU在智能计算领域的软件生态，哪些领域或者技术是可以拓展的并进行移植实现。
5. 曙光全国布局了好几台海光CPU+DCU平台，如何推广的。从硬件供应商到计算服务供应商的拓展，调研并分析。技术上有什么特点，哪些支撑？
6. 比较Spark与Hadoop的不同，并进行测试和验证，例如：测试hadoop及spark在计算中对存储的访问次数和以及对性能的影响。要注重思想和细节实现。
7. 调研内存、硬盘、SSD发展过程及其对文件系统、算法等的影响，特别是调研Intel 的SSD等?比较测试并对以后的发展趋势发表自己的看法。存储一直在发展变化：早期传统存储模式有直连式存储（DAS），网络连接存储（NAS）等；集群中常用的并行存储，后来出现的HDFS等分布式存储，以及现在广泛使用的云存储、“软件定义存储”等。在这些过程中存储系统的软硬件也发生着许多变化，请作关于存储的综述报告，陈述存储的产生和发展，硬件例如交换机、存储整列、存储网络，软件方面的协议，并行文件系统，分布式文件系统等发展变化以及日后趋势。有的AI系统是基于hadoop或者spark，其实就是利用了其中的存储系统。（要求45分钟，并能针对其中一点作测试，图文并茂，最好有发展路线图，最好解释变化原因，其实就是需求的变化导致应用场景的不同）。
8. Untether AI 和 HOUMO.AI（后摩智能）这样的初创公司正致力于研发“in-memory computing”（存内计算）技术。与传统方法相比，存内计算把计算和存储合二为一实现高度集成，能够大幅度提升性能。Samsung 公司报告称，采用存内计算技术后，语音识别神经网络的速度提高了一倍以上，资源消耗削减了一半。调研该研究方向及国内外相关技术，分析并进行测试。
9. 容器技术是什么？具体实现方法是什么？目前的发展和实现技术是什么？不同种类的容器进行调研和比较。用容器实现在集群中安装MPI、Hadoop（或者spark），分析大规模容器部署的瓶颈及解决方法。容器运行的性能瓶颈和解决方法。
10. 实现基于容器技术的集群监控、集群中各种专用软件环境的快速部署和运行。什么是高性能计算云，请调研它的产生和解决方案等，有哪些解决方案，测试并比较。关注目前有些公司提供HPC、AI计算，但是本身没有计算平台，转卖机时。分析深度学习算法，特别是算法中的相关性和并行度等，调研目前流行的深度学习计算机，这些计算机和通用计算的区别。测试并比较这些机器在容器中能否调用GPU设备？如能，它是如何实现调用的呢，请加以实践，并从代码实现原理角度进行阐述？如不能，那请尝试在Docker容器中实现GPU调用编程。
11. 调研大型集群，例如用于高性能集群、云计算的风冷、水冷空调系统，并比较。调研IPMI、BNC(BMC?)的发展及其原理，运用IPMI2.0编程实现机房系统的监控，例如：CPU、内存、网络、硬盘、进风口、出风口的温度等所有IPMI可以检测的参数，并设计数据格式记录这些数据。试试是否可以实现例如写脚本或者程序实现空调系统温度过高时，先报警再关机等功能。
12. 集群管理功能中很重要的是实现系统镜像的抓取，并在不同配置机器上部署（系统克隆），并自动实现IP和主机名的配置。集群系统中如何实现系统的快速部署的？找出各种解决方法，实现已安装的操作系统的镜像的生成，并部署到同样配置的主机上，注意主机名和IP的配置.集群可以通过IPMI进行克隆，也可以通过在初装系统上通过RPM包的形式快速安装部署，请实现，如果有上百台计算机呢？注意集群的基础软件：例如：MPI、Slurm、C3、ganglia、NFS、NIS、ssh-key配置、Hadoop。容器平台上怎么做？
13. Spack是一个包管理工具，它为大型超级计算中心设计，支持各种平台和环境上的软件的多个版本和配置。用户可在集群中安装多种版本的软件，且可以相互隔离、无特权需求，用户可在集群中安装一个软件的不同版本来使用。更重要的是，它可以在没有网络的情况下，一键解析依赖，并安装库。通常情况下，这些库的编译都是很复杂的，但spack却可以轻松地解决这些编译上的问题。安装并测试该工具，并调研类似工具发展情况。
14. 传统HPC大多基于集群实现高性能计算，一般是根据CPU计算资源（例如核）分配相应数量的进程进行计算，这些年出现了很多集群调度系统，PBS、LSF、Slurm等。调研比较HPC系统的作业管理系统，安装SLURM，并分析其特点和功能，例如：是否能实现大作业资源预留，配置GPU的集群如何调度？。随着AI计算市场骤增，目前作业管理系统已经对容器支持。分析传统HPC作业管理系统和新生的容器编排系统（例如k8s）比较。调研国内外容器编排系统，比较这些系统的异同。注意调研大型企业或者中心的选择，分析为啥？
15. 调研top500.org上从开榜到现在系统在各方面的情况调研，例如架构、网络、CPU、存储、加速卡、功耗、OS等。调研国内top100的发展变化。虚拟化和容器化产生了什么影响。加速部件推出有什么影响。AI计算呢？HPCG是求解稀疏矩阵方程组的一种迭代算法，使用局部对称Gauss—Seidel预条件子的预处理共轭梯度法，主要数据为对称正定稀疏矩阵，每一个计算循环需要调用稀疏矩阵向量乘、预条件子、向量更新和向量内积操作。覆盖了常用的计算和通信模式。HPCG类似HPL，允许使用多种优化方法调优，例如新的稀疏矩阵格式等。运行并分析HPCG测试。
16. Hadoop用于进行分布式计算，通常每个任务间没有相关，并行度非常大，其数据也是基于HDFS分布在各台机器上。大数据后期分析通常基于HPC作业的处理，而HPC中MPI进程通常通过共享的集中存储。如何在一个硬件系统（例如集群）中实现2种不同架构的计算，如何解决，高效解决。注意存储、调度问题如何解决？
17. 互连网络（ICN）在计算机系统结构中占据重要地位，涉及互连网络作用、互连网络设计准则、互连函数、拓扑结构、性能参数、寻径机制等问题。请调研目前主流CPU厂商如Intel和AMD，他们生产的CPU中Core与Core是如何互连的，给出拓扑结构并分析，给出其发展历程及日后趋势（研究对象也可以是GPU或TPU，并能针对其中一点作测试，图文并茂，最好有发展路线图）。
18. 互连网络是计算机集群的重要组成部分，其性能直接影响集群的整体性能，涉及硬件支持、收发函数库、拓扑结构、性能参数等问题。请调研现有的互连网络如万兆以太网、InfiniBand和OPA，以及top500中MPP或者其它类型机器中使用的不同网络，它们使用了哪种拓扑结构，节点与节点之间是如何互连的，给出这么做的优缺点分析；调研各种互连网络的发展历程及日后趋势（研究对象也可以是目前Top500榜单上的集群计算机及其使用的高速网络，图文并茂，最好有发展路线图）。
19. Remote Direct Memory Access (RDMA)提供了一种跨过cpu，os和TCP/IP 协议栈直接访问远端内存到本地内存的方式，是一种高效的点对点的通信，一开始用于myrinet、IB等专用网络在高性能集群系统中大量应用，后来在云计算中大量应用，来提高云计算效率，但是云计算大量采购的是以太网（考虑一下为啥？），因此RDMA技术大量应用在以太网中。目前的深度学习框架（注意这些计算的特点，数据相关和对存储的访问特点）包括TensorFlow、Caffe、Cognitive Toolkit、PaddlePaddle都可以很好的支持RDMA以太网和InfiniBand。相比普通的TCP来说，RDMA会有更好的数据传输效率，可以大幅度加速深度学习的训练速度，缩短训练时间。在AI领域，用户通过HDFS分布数据，训练，推理等对数据多次读写，传统意义上的已经在RDMA上构成一个立体的通信体系。而在Nvidia收购IB的最主要厂商后，通过RDMA实现除了机器之间，机器和存储直接的高效互联外，增加了卡对卡的互联（注意可以是不同机器间）。请对RDMA出现发展和应用进行调研，并进行部分测试并分析测试结果。
20. 随着深度学习模型复杂化，训练用数据量增多，更多的模型训练采用分布式训练（如多机多卡）的模式进行。对分布式训练流程进行简单介绍，对现有分布式框架（如horovod）进行调研，并对不同框架表现进行对比，尝试分析性能差异产生的原因。同时分布式训练相较于单机单卡的训练也带来了通信问题，对常用的通信方式进行研究，并编写程序对其进行模拟（即不采用框架提供的方式，手动编程模拟通信过程）比较性能。
21. 在如今AI模型“层数更深、规模更大”的发展格局下，随着GPU不断地更新迭代，算力需求不再是HPC发展的最大瓶颈。相反的是，CPU与存储单元的I/O读写能力限制了整个训练和推理的速度。选择一种深度学习框架，通过分析模型在训练、推理时数据在不同计算机单元（CPU、GPU和内存）之间的流动路线，调研目前能够改善此种现象的方法（如多进程读取等）。
22. 目前Transformer在多项任务中都能达到世界领先水平，但其在推理时的速度是较低的。调研并分析目前针对主流深度学习框架在训练和推理时的硬件加速方法和软件加速方法。并选择一种深度学习框架，来分析目前可以从哪些方面（硬件、软件）加快Transformer的推理速度。提示：在硬件方面可以多参考NVIDIA GPU针对其并行处理能力和Tensor Core架构的强化，在软件方面可以搜集多种加速Transformer推理的算法。Nvidia看重tranformer计算的市场，宣布重点支持该计算，请调研该公司做了哪些工作，如何实现的，主要思想是什么。用实验进行验证
23. 联邦学习是一种分布式机器学习框架。目前在车联网和车辆的智能控制中开始大量应用，请进行调研。然而大部分算法是用Python实现的。在嵌入式领域由于资源限制，C\C++比较常见，因此将联邦学习的算法用C/C++实现（注意客户端指定是ARM平台，内存小于4G）。联邦学习算法包括但不限于聚合、客户端选择、个性化、模型等，最好不同分类能实现一种。
24. 联邦学习是一种分布式机器学习框架。在手机上可以用联邦学习做一些应用，如图像分类、输入法预测等。能否设计一个系统，使得多个手机客户端方便的参与进联邦学习计算，最终提升模型的表现。每台手机利用手机的数据进行训练，数据不出本地。上传模型参数到中央进行聚合，中央可以设置测试来评估模型表现，每个客户端也可以设置测试来评估。

以下题目只是范围，细节自己定

1. 测试国产CPU和加速卡的基础性能，例如华为、曙光、璧仞、天数等。
2. 测试国产CPU和加速卡的HPC和AI计算性能（单机和多机情况），例如华为、曙光、璧仞、天数等
3. 调研相关功耗测试方法、工具、软件，并测试国产CPU和加速卡的功耗，例如华为、曙光、璧仞、天数等