

# 《计算机系统结构》课程教学大纲

## 一、课程基本信息

课程名称	中文：计算机系统结构		课程编号	3132113060
	英文：Computer Architecture			
学分/学时	3/48	必修（√）/ 选修（）	开课学期	6
课程类别	专业基础课程		适用专业	计算机科学与技术
先修课程	计算机组成原理			
授课教师	邝坚，余文，裴颂伟			

## 二、课程目标

本课程以时间、空间并行技术为代表的并行计算机系统结构为核心，使学生逐步掌握并行计算机系统的基本概念、分析设计方法和关键技术。本课程以计算机系统的基本概念、计算机系统定量分析和设计的基本方法为入口，重点介绍时间并行技术、指令级并行技术和向量处理机技术，并在此基础上使学生对互连网络、阵列计算机、多处理机等并行计算机系统的结构特点和关键技术有一定程度的了解。本课程注重从总体机构、系统分析的角度研究计算机系统，培养学生树立正确的思想方法，采用适当的技术手段，在多种指标因素中进行计算机系统优化及性能平衡等复杂工程问题的基本研究能力。具体目标为：

**课程目标 1：**在层次结构建立的基础上，深入理解 Amdahl 定律及其 Common Case 的基本理念，能够运用量化分析方法，对计算机系统中的“瓶颈”类复杂工程问题进行而分析、描述、建模、评估及优化。

**课程目标 2：**学习“量化分析—系统优化—并行处理”的问题求解过程。重点掌握处理器流水线技术性能指标、相关冲突问题及优化、指令级并行的开发，了解互连网络、向量处理机、阵列处理机、多处理机等核心技术，能够运用平衡和折中思考方式，采用量化的方法，分析和解决计算机系统类优化的复杂工程问题。

**课程目标 3：**通过仿真实验、专题调研以及技术研究报告等环节，增强理论结合实际的能力，训练采用合理的思想、工具及技术方法进行设计、开发、仿真、验证和总结。

## 三、课程目标与支撑的毕业要求

本课程的知识点支撑毕业要求中的 2 个指标点：1.3 和 5.2。如下表所示，本课程的 3 个课程教学目标，分别对应工程教育专业认证标准规定的毕业要求中的 2 个指标点。

课程目标	课程目标内容	指标点	达成途径	评价依据
目标 1	在层次结构建立的基础上，深入理解 Amdahl 定律及其 Common Case 的基本理念，能够运用量化分析方法，对计算机系统“瓶颈”类复杂工程问题进行分析、描述、建模、评估及优化。	1.3 掌握计算机硬件基础知识及原理，能够将其和数学与工程方法以及计算求解能力用于分析和解决复杂工程问题，并能够对解决方案进行比较和综合。	通过课堂讲授使学生理解并掌握层次结构为基础的系统结构概念，量化分析方法以及其中蕴含的基本理念，从分析建模到优化策略。作业，调研环节强化巩固认知。期末考试考核原理掌握程度和量化分析计算能力。	考核内容约占总成绩的 23% 左右，包括作业和期末考试。
目标 2	学习“量化分析—系统优化—并行处理”的问题求解过程。重点掌握处理器流水线技术性能指标、相关冲突问题及优化、指令级并行的开发，了解互联网络、向量处理机、阵列处理机、多处理机等核心技术，能够运用平衡和折中思考方式，采用量化的方法，分析和解决计算机系统类优化的复杂工程问题。	1.3 掌握计算机硬件基础知识及原理，能够将其和数学与工程方法以及计算求解能力用于分析和解决复杂工程问题，并能够对解决方案进行比较和综合。	通过课堂讲授使学生理解并掌握流水线性能指标在理想模型和实际环境中的差异性，改进冲突的基本思想和方法及其不断优化的历程，将并行理念贯穿于始终，用量化分析达成系统优化。作业，调研环节强化巩固认知。期末考试考核知识点掌握程度和分析计算能力。	考核内容约占总成绩的 47% 左右，包括作业和期末考试。
目标 3	通过仿真实验、专题调研以及技术研究报告等环节，增强理论结合实际的能力，训练采用合理的思想、工具及技术方法进行设计、开发、仿真、验证和总结。	5.2 了解计算机系统和网络及相关信息领域常用的技术开发工具和资源的使用方法，能够合理选择并将其用于复杂工程问题的设计、开发、仿真及验证过程中，并能够理解其局限性。	通过仿真实验训练仿真工具使用和代码开发能力，强化实际问题下的正确优化思想及量化分析使用，验证和总结。通过研究报告撰写扩展了解一类新的系统结构技术，扩展知识体系，并能将课程知识运用于实际问题的分析研究。	考核内容约占总成绩的 30% 左右，包括实验、调研和研究报告。

#### 四、课程落实立德树人的举措

在各类教学环节中，通过对计算机系统结构相关技术在中国国民经济发展中的重要性，以处理器为代表的国家核心竞争力的相关介绍，同时通过学生对国产处理器的调研等环节，激发学生的爱

国情怀和责任担当，树立新时代大学生投身强国建设，将自身价值的体现和职业规划建立在与“中国梦”追求实现的进程中。

## 五、教学内容、学时安排

参见附表。

## 六、教学方法

课堂讲授，课下自学、实验和调研/研究报告。

40 学时的课堂教授为主，注重课堂互动；以爱课堂线上平台为辅，线下线上互补。学生线上预习课堂课件内容。部分扩展内容拟采用翻转课堂形式。同时线上提供电子教学辅助材料，供学生自学。

8 学时实验的代码和实验报告线上提交，在期末前安排实验的现场随机抽查，强化实验效果。

以调研/研究报告的方式进行学生的研究性学习。在课时允许的情况下，安排线下的研究报告交流和研讨，同时可选择较好的学生录制视频报告促进交流。

设置平时分激励机制。对在研讨、交流等环节主动性表现好的学生，给予适当的平时分适当加分鼓励，但平时分总分不超过平时分的最高分。

## 七、考核方式

本课程的考核环节主要包括期末考试，平时作业，实验和研究报告，期末成绩占总成绩的 60%，平时成绩（作业，实验和研究报告）占总成绩的 40%，成绩评定采用百分制和综合成绩评定方式，即总成绩=课堂成绩（期末考试 60%+平时成绩 40%）（注：课程教学组可根据实际情况，对每部分总评比例进行调整，但各教学班应保持一致）。

各个考核环节对于课程目标和毕业要求的指标点的贡献度如下表所示：

课程目标编号	指标点编号	考核方式				总贡献度
		平时（贡献度 40%）			期末（贡献度 60%）	
		作业	实验	调研/报告		
目标 1	1.3	3%			20%	23%
目标 2	1.3	7%			40%	47%
目标 3	5.2		20%	10%		30%
贡献度		10%	20%	10%	60%	100%

考核标准参见下表。

考核环节	所占分值	考核与评价细则	对应课程目标
作业	10%	平时作业一般为 8 次左右,涵盖课程直主要内容,按照是否按时提交、完成情况等进行综合评定。每次作业评分参考标准为(按照 10 分计算):按时完成作业并提交,计 4 分(补交的此部分为 0 分);在此基础上,作业正确率满足 60% (及格)、80%、90%和 100%分别为 2 分、4 分、5 分、6 分,有创新解题思路或解决方案的可另加 1-2 分,但每次作业得分不超过 10 分。	课程目标 1、2
实验	20%	4 次实验每次占比 5%。 评分参考标准如下(按照 100 分计算): 1、代码能够正常运行,并提交代码及实验报告: 60 分 (及格); 2、代码功能的完成度 5-20 分; 3、实验报告的撰写规范度 5-20 分。 4、补交实验的分数按 50%记。	课程目标 3
调研/报告	10%	按 10 分计算 (6 分及格)。 按时提交报告且字数符合要求的 3 分; 报告的体例规范度 1-3 分;个人观点 1-4 分。	课程目标 3
期末考试	60%	闭卷考试,题目涉及课程全部教学内容,并通过综合应用题考察学生分析解决系统结构复杂问题的能力。 评分参考标准参见试卷参考答案。	课程目标 1、2

## 八、课程资源

### 课程教材:

《计算机系统结构教程(第 2 版)》,张晨曦 王志英等编著,清华大学出版社,2014 年 10 月。

### 参考资料:

1. 《Computer Architecture - A Quantitative Approach (6th Edition)》, John L.Hennessy, David A.Patterson, Morgan Kaufmann Publish, 2017.12.
2. 《Essentials of Computer Architecture, Second Edition》, Douglas Comer, 2017.1.
3. 《计算机系统结构(第三版.网络版)》,白中英主编,科学出版社,2010 年 7 月。

执笔人：邝坚

审核人：

附表 课程教学内容、学时分配及课程目标达成途径

序号	知识模块	教学内容	学时分配	教学目标与要求	对课程目标（毕业要求指标点）支撑	学生任务		
						作业&测验	研究性学习	实验
1	计算机系统结构的基本概念	计算机系统的层次结构；计算机系统结构的定义；计算机系统结构分类。	2	从计算机系统的层次理解并掌握计算机系统结构定义及属性；重点掌握计算机系统结构的 Flynn 分类法，一般了解其他分类法。	掌握计算机系统结构的基本概念，通过计算机系统的各级层次的划分和各类系统结构的分类方法，使学生掌握计算机硬件核心基础知识及其基本应用方法，理解计算机系统的概念；（支撑课程目标 1，指标点 1.3）。	教材作业，计算机系统结构，计算机组成与计算机实现间的关系		
2	计算机系统设计的定量原理和性能评测	Common Case（经常性事件）原则；Amdahl 定律；CPU 性能公式；执行时间和吞吐率；基准测试程序。	2	熟悉 Amdahl 定律，熟悉 CPI/MIPS 计算，理解 CPU 性能公式与 CISC/RISC 的关系；熟悉执行时间与吞吐率的计算，了解基准测试程序	通过介绍量化的分析方法和计算公式，使学生能够选择合理的指标评估计算机系统结构设计中的瓶颈及其局限性（支撑课程目标 1，指标点 1.3）。	教材作业，CPI, MIPS 以及程序执行时间的计算；单部件及多部件 Amdahl 定律应用		
3	计算机系统结构发展；并行性概念及提高并行性的主要技术途径	计算机系统结构发展的主要影响因素；并行性概念；单机系统中并行性技术途径；多机系统并行性技术途径；并行机的发展变化。	2	熟知软件，器件，应用等对系统架构的影响；熟悉提高并行性的主要技术途径，时间重叠，资源重复及资源共享的内涵；了解并行机	通过介绍计算机发展历史，剖析系统结构，组成实现以及器件发展等因素的贡献，使学生能够理解计算机系统的概念，能够理解并行技术的应用及其		要求学生调研目前国产处理器的现状及高性能计算机 TOP500 的最	

序号	知识模块	教学内容	学时分配	教学目标与要求	对课程目标（毕业要求指标点）支撑	学生任务		
						作业&测验	研究性学习	实验
				的发展历史及趋势	局限性，通过让学生调研TOP500 并行计算机的发展趋势，理解选择技术路线的正确方法（支撑课程目标 1，指标点 1.3）。		新 发 展 趋 势。撰写技术简报（支撑课程目标 3，指标点 5.2）。	
4	指令流水线技术及性能指标	流水线的基本概念及分类；流水线的吞吐率，加速比，效率等	4	熟悉流水线时空图，熟悉各类流水线的分类；熟悉利用时空图计算各段时间均等和不等情况下的性能指标计算；了解流水线设计中的瓶颈，冲突与开销问题。	掌握时空图表达方式，通过定量化的性能指标计算方法的介绍，使学生掌握评估计算机系统结构设计中的瓶颈及其局限性（支撑课程目标 2，指标点 1.3）。	教材作业，流水线技术的特点，流水线时空图画法；熟练计算各种性能指标的计算方法		
5	流水线的相关与冲突概念	经典 5 段流水线，基本的 MIPS 流水线，典型 RISC 处理器及其流水线；数据通路流水线时空图，相关与冲突的概念与类别，对应在 MIPS 流水线的改进	5	了解流水线与 RISC 的关系；熟悉经典的 5 段流水线；熟悉数据相关，名相关及控制相关；熟悉流水线的结构冲突，数据冲突及控制冲突。掌握数据冲突的各种形式（写后读，写后写，读后写等），及减少数据冲突的基本方法	掌握经典的流水线技术，让学生掌握计算机硬件核心基础知识，通过相关和冲突的分析，使学生掌握运用于设计、开发、仿真过程的工具和方法，并能够理解其局限性（支撑课程目标 2，指标点 1.3）。	教材作业，结合具体的流水线案例，分析其相关和冲突情况	要求学生自学 MIPS 指令系统，看懂基本的 MIPS 指令代码。	实验 1（2 学时）：流水线及流水线中的冲突（支撑课程目标 3，指标点 5.2）

序号	知识模块	教学内容	学时分配	教学目标与要求	对课程目标（毕业要求指标点）支撑	学生任务		
						作业&测验	研究性学习	实验
6	指令级并行的概念及多指令流出技术	指令级并行的基本概念，超标量，超流水，超标量超流水，静态指令的调度，VLIW	2	熟悉各类指令级并行技术的基本概念；了解指令调度的内涵及多指令流出技术	掌握指令级并行技术，让学生深入掌握计算机硬件核心基础知识和基本的并行概念（支撑课程目标 2，指标点 1.3）。			实验 2（2 学时）：使用 MIPS 指令实现求两个数组的点积。 实验 3（2 学时）：使用 MIPS 指令实现冒泡排序法。（支撑课程目标 3，指标点 5.2）
7	指令的动态调度技术	指令动态调度的基本思想，典型指令动态调度方法	4	熟悉乱序执行调度的概念，熟悉采用 Tomasulo 算法的基本结构；了解记分牌调度思想及方法，	掌握指令动态调度技术，通过介绍 Tomasulo 等典型的体系结构级指令调度机制，让学生掌握计算机硬件核心基础知识，并能够合理的选择相应工具运用于设计、开发、仿真及验证过程（支撑课程目标 2，指标点 1.3）。	教材作业，填写 Tomasulo 机制的信息表格		



序号	知识模块	教学内容	学时分配	教学目标与要求	对课程目标（毕业要求指标点）支撑	学生任务		
						作业&测验	研究性学习	实验
8	动态分支预测技术	动态分支预测的基本概念, 分支历史表, 分支目标缓冲器, 基于硬件的前瞻执行,	3	熟悉分支历史表, 分支目标缓冲器, 了解利用 Tomasulo 算法的基于硬件的前瞻执行	通过介绍分支预测技术在体系结构级的实现机制和方法, 让学生了解调度技术在分支指令中的应用, 使学生能够了解不同的技术在不同场景应用中的局限性 (支撑课程目标 2, 指标点 1.3)。	教材作业, 计算分支历史预测的 CPI, 前瞻执行中保留站, 再定序缓冲器结果的分析等。	要求学生结合本课程知识研究目前典型的处理器 (如 RISC-V)。撰写研究报告 (支撑课程目标 3, 指标点 5.2)。	实验 4 (2 学时): 指令调度与延迟分支 (支撑课程目标 3, 指标点 5.2)
9	向量处理机	向量处理的基本概念; 向量流水处理机的结构; 提高向量流水处理机性能的方法; 向量处理机的性能评估;	4	熟悉向量处理方式, 熟悉向量处理机的两种基本结构, 熟悉链接技术和分段开采技术, 熟悉向量处理机的性能评价指标。了解典型向量处理机。	掌握向量运算机理, 特别是向量处理方法, 通过介绍向量机制与并行机制的结合, 让学生掌握计算机硬件核心基础知识及其基本应用方法, 理解不同技术应用的局限性 (支撑课程目标 2, 指标点 1.3)。	教材作业, 计算链接执行和分段开采情况下的执行时间		
10	互连网络	互连网络的相关概念; 互连网络的结构; 静态及动态互联网络; 消息传递机制	6	熟悉互连函数的表示方法及基本的互连函数, 熟悉互连网络的结构参数与性能指标, 熟悉典型的静态互连网络, 熟悉典型的动态互连网络, 了解消息传递机制, 了解多播, 单播	掌握典型的互联模式, 通过详细介绍各类互联函数及其构成的互联网络, 让学生能够理解不同的并行计算机在选择互联网络时权衡和定量分析方法, 使学生理解设计开发和仿真的应用及其局限性 (支撑	教材作业, 计算互连函数		

序号	知识模块	教学内容	学时分配	教学目标与要求	对课程目标（毕业要求指标点）支撑	学生任务		
						作业&测验	研究性学习	实验
				和广播机制。	课程目标 2，指标点 1.3)。			
11	阵列处理机	阵列处理机的操作模型和特点；阵列处理机基本结构	2	熟悉阵列处理机的操作模型，熟悉分布式存储器的阵列机的基本结构和共享存储器的阵列机的基本结构，了解 Illiac IV 和 BSP 阵列处理器基本结构	通过介绍阵列处理机的特征，比较阵列处理机与集群，MPP 等的区别，让学生了解并行计算机硬件发展情况，了解计算机设计过程中面临的复杂问题，使学生能理解仿真及验证的重要性和局限性（支撑课程目标 2，指标点 1.3)。	教材作业，阵列处理机的特点		
12	多处理机及机群系统	多处理机系统的一般模型、特点和分类；对称式共享存储器多处理器（SMP）的特点及其 Cache 一致性和监听协议；分布式共享存储器的特点及其 Cache 一致性和目录协议	4	熟悉各类多处理机系统，熟悉监听一致性协议，熟悉目录一致性协议	掌握多处理器的各种类型和区分特征，通过介绍缓存一致性问题的来源和必要性，使学生掌握计算机硬件的核心知识，通过介绍缓存一致性协议的设计和验证的复杂性，使学生理解仿真及验证在缓存一致性设计中的重要性和局限性（支撑课程目标 2，指标点 1.3)。	教材作业，监听一致性协议和目录一致性协议		