

北京大学信息科学技术学院考试试卷

考试科目：计算机系统导论 姓名：_____ 学号：_____

考试时间：2025 年 11 月 17 日 大班号：_____ 小班号：_____

题号	9	10	11	12	13	14/15	16/17	总分
分数								
阅卷人								

北京大学考场纪律

1、考生进入考场后，按照监考老师安排隔位就座，将学生证放在桌面上。无学生证者不能参加考试；迟到超过 15 分钟不得入场。在考试开始 30 分钟后方可交卷出场。

2、除必要的文具和主考教师允许的工具书、参考书、计算器以外，其它所有物品（包括空白纸张、手机、或有存储、编程、查询功能的电子用品等）不得带入座位，已经带入考场的必须放在监考人员指定的位置。

3、考试使用的试题、答卷、草稿纸由监考人员统一发放，考试结束时收回，一律不准带出考场。若有试题印制问题请向监考教师提出，不得向其他考生询问。提前答完试卷，应举手示意请监考人员收卷后方可离开；交卷后不得在考场内逗留或在附近高声交谈。未交卷擅自离开考场，不得重新进入考场答卷。考试结束时间到，考生立即停止答卷，在座位上等待监考人员收卷清点后，方可离场。

4、考生要严格遵守考场规则，在规定时间内独立完成答卷。不准交头接耳，不准偷看、夹带、抄袭或者有意让他人抄袭答题内容，不准接传答案或者试卷等。凡有违纪作弊者，一经发现，当场取消其考试资格，并根据《北京大学本科考试工作与学术规范条例》及相关规定严肃处理。

5、考生须确认自己填写的个人信息真实、准确，并承担信息填写错误带来的一切责任与后果。

学校倡议所有考生以北京大学学生的荣誉与诚信答卷，共同维护北京大学的学术声誉。

注意事项:

(1) 本试卷基本按照大班课程讲授次序分组, 不是按照题目难度排序。题量较大, 注意合理安排时间。

(2) 除特别说明外, 默认技术前提是本课程课件和对应教材内容, 例如: x86-64 体系结构、Linux 操作系统、C 语言程序等; 汇编程序是对应 C 程序主体功能实现, 不做高级别优化, 不一定是完整代码。涉及 Y86-64 体系结构时, 采用课程中讲授的 SEQ 和 PIPE 等处理器结构。

(3) 除特别说明外, 汇编程序代码按每行计分, 其它按每空计分。

(4) 不定项选择题全部答对才得分。

(5) 在试卷上指定位置答题, 包括冒号后、等号后、箭头后、横线上、括号里等。

批卷说明: (1) 题目指明“用十六进制表示”, 回答里没写 0x 不扣分; (2) 寄存器前面没写%不扣分; (3) 在含义明确的情况下, 汇编代码中的 q (例如 addq) 没写不扣分

第 9 讲 (12 分) 得分: _____

1. (不定项选择, 2 分) 以下描述, 哪些属于 ISA 规定的内容: **ABCFG**

- A. 有 15 个通用寄存器, 每个寄存器 64 位
- B. 有 3 个条件码, 分别是 ZF、SF、OF
- C. 过程调用指令 (call) 会将下一条指令地址压入栈中
- D. 过程调用的前 2 个参数放在寄存器 rdi、rsi
- E. 过程调用返回值放在寄存器 rax
- F. 内存是字节寻址的, 字节序采用小端法
- G. 访存指令支持寄存器加偏移的寻址模式

2. (2 分) Y86-64 中的这两条指令:

```
rrmovq rA, D(rB)
```

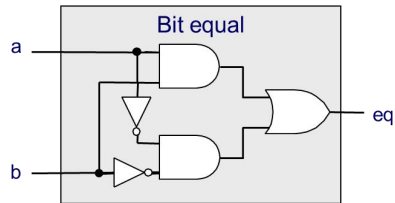
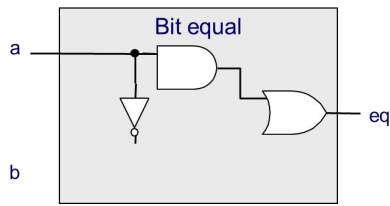
```
mrmovq D(rB), rA
```

第 2 条指令为什么不设计成 `mrmovq D(rA), rB`? 这样都是 rA 在前 rB 在后, 看起来更加规整。

答: 硬件电路上都通过 rB 的通路计算出地址, 电路更为简单

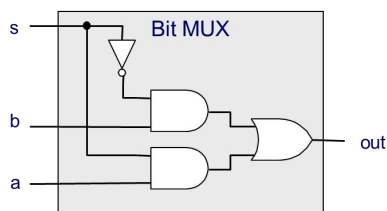
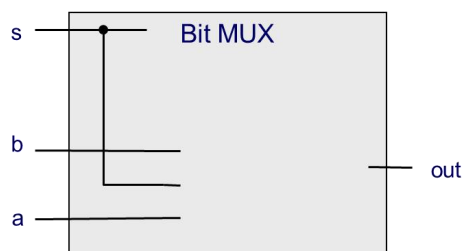
3. (各 3 分, 共 6 分) 根据 HCL 表达式补全电路图

```
(1) bool eq = (a&&b) || (!a&&!b)
```



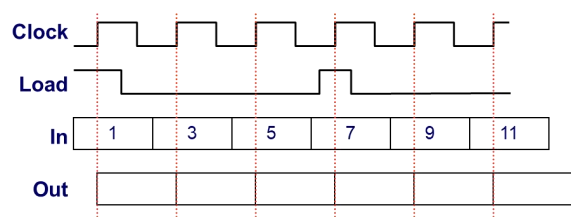
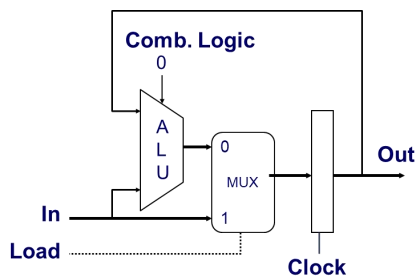
答案:

(2) `bool out = (s&&a) || (!s&&b)`



答案:

4. (2 分) 根据下面左边电路图，补全右边时序图里 Out 信号的值 (In/Out 均用 10 进制表示)



答案: 1 4 9 7 16 27

第 10 讲 (16 分) 得分: _____

5. (8 分) Y86-64 的 `popq` 指令编码格式如下:

`popq rA`

b	0	rA	8
---	---	----	---

根据 popq 指令的操作，补全下表（共需填 8 行 9 空）

	popq rA
Fetch	icode:ifun $\leftarrow M_1[PC]$
	rA:rB $\leftarrow M_1[\quad]$
	valP $\leftarrow PC+2$
Decode	valA $\leftarrow R[\quad]$
	valB $\leftarrow R[\quad]$
Execute	valE $\leftarrow (\quad) + (\quad)$
Memory	(\quad) $\leftarrow M_8[valA]$
Write back	R[\quad] $\leftarrow valE$
	R[\quad] $\leftarrow valM$
PC update	PC $\leftarrow (\quad)$

	popq rA
Fetch	icode:ifun $\leftarrow M_1[PC]$
	rA:rB $\leftarrow M_1[PC+1]$
	valP $\leftarrow PC+2$
Decode	valA $\leftarrow R[\%rsp]$
	valB $\leftarrow R[\%rsp]$
Execute	valE $\leftarrow valB + 8$
Memory	valM $\leftarrow M_8[valA]$
Write back	R[%rsp] $\leftarrow valE$
	R[rA] $\leftarrow valM$
PC update	PC $\leftarrow valP$

答案:

6. （8 分）以下是 SEQ 处理器中 ALU 的 A 口输入端信号（aluA）生成逻辑的分析，只列出了部分指令。根据各指令功能，并参考下面已经给出的信息，补全空缺（表格中 2 空，HCL 代码中 6 空）。

	OPq rA, rB
Execute	valE \leftarrow valB OP valA
	cmovXX rA, rB
Execute	valE \leftarrow 0 + valA
	rmmovq rA, D(rB)
Execute	valE \leftarrow valB + valC
	popq rA
Execute	valE \leftarrow valB + 8
	jXX Dest
Execute	
	call Dest
Execute	valE \leftarrow valB + ()
	ret
Execute	valE \leftarrow valB + ()

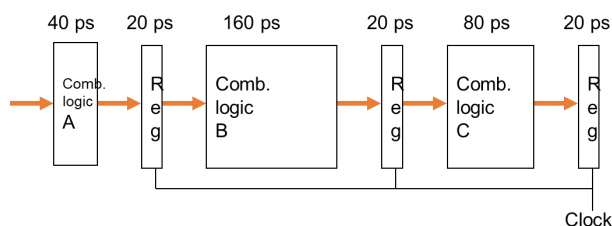
```
int aluA = [
    icode in { IRRMOVQ, IOPQ } : valA;
    icode in { IIRMOVQ, IRMMOVQ, IMRMOVQ } : valC;
    icode in { ICALL, IPUSHQ } : -8;
    icode in { IRET, IPOPQ } : 8;
    # Other instructions don't need ALU
];
```

	OPq rA, rB
Execute	valE \leftarrow valB OP valA
	cmovXX rA, rB
Execute	valE \leftarrow 0 + valA
	rmmovq rA, D(rB)
Execute	valE \leftarrow valB + valC
	popq rA
Execute	valE \leftarrow valB + 8
	jXX Dest
Execute	
	call Dest
Execute	valE \leftarrow valB + -8
	ret
Execute	valE \leftarrow valB + 8

答案:

第 11 讲 (16 分) 得分: _____

7. (4 分) 如下图所示的三级流水线结构, 单条指令的延迟 (delay) 是 340 ps, 流水线满负荷运转时, 每 180 ps 完成一条指令。如果能理想化地进一步细分流水级 (不跨现有流水级重排电路、也不过度细分), 恰好划分成均衡流水线, 那单条指令的延迟 (delay) 是 420 ps, 流水线满负荷运转时, 每 60 ps 完成一条指令。



8. (6 分) 阅读下面这段 Y86-64 汇编代码

- ① `irmovq $1,%rax`
- ② `irmovq $2,%rax`
- ③ `irmovq $3,%rdx`
- ④ `addq %rax,%rdx`

当这段代码在 PIPE 处理器上运行时, 当 `addq` 指令在流水级 D/Decode/译码 (任一对) 阶段时, 会检测到数据冒险。此时运用了数据前递技术, 其中在流水级 M 阶段的指令前递数据 2 作为操作数 `%rax` 的值。

9. (4 分) 写出一段存在 Load-use 相关的 Y86-64 汇编代码 (要求代码简洁明了), 并说明能否用数据前递技术解决, 为什么?

答: 代码示例如下 (2 分):

```
mrmovq 0(%rdx),%rax
addq %rbx,%rax
```

注意: 代码不用一模一样, 关键点是前一条指令读内存到某个寄存器 (这里是 `rax`), 后一条指令要读取这个寄存器

“Load-use”不能用数据前递技术解决, 因为上面的 `add` 指令在译码阶段就要“use”, 这时前一条指令还在执行阶段, 还有一个周期才能到访存阶段进行“load”。(2 分)

注意: 如果回答用数据前递技术可以部分解决, 也算对。

10. (2 分) 写出一段存在 Load-use 相关和 `ret` 组合的 Y86-64 汇编代码 (要求代码简洁明了)。

答: 代码示例如下 (2 分):

```
mrmovq 0(%rdx),%rsp
ret
```

注意: 代码不用一模一样, 关键点是前一条指令读内存到 `rsp` 寄存器, 后一条指令是 `ret`

第 12 讲 (14 分) 得分: _____

11. (2 分) 对比同样容量的 SRAM 和 DRAM, 功耗更高是 SRAM, 价格更低是 DRAM。
12. (判断对错, 2 分) ROM 是只读存储器的简称, 是非易失性存储器, 掉电不会丢失数据, 只能读不能写。对还是错: (错)
13. (4 分) 下图是一根 DDR3 SDRAM 内存条, 数据位宽是 64-bit, 总容量为 2GB, 由 8 颗内存芯片构成。如果一个计算机系统只有这根内存条作为全部内存, 那往地址 0x01001000 写一个 64-bit 数 0x12345678, 这个数会放在内存条上从左向右数第几颗 (或哪几颗) 内存芯片中? 并解释这样存放的原因。



答: 这个 64-bit 数分散在全部 8 颗内存芯片, 每个芯片存 8-bit (2 分)。因为每颗芯片数据位宽有限 (8-bit), 这样存放读取速度更快 (2 分)。注意: 关键点是“分散”, 如果写成分散到从左往右的 1~4 颗或者 5~8 颗, 并说明每颗芯片位宽 16-bit, 也算对。

14. (不定项选择, 2 分) 机械硬盘和固态硬盘 (SSD) 对比, 在主流产品形态下, 下列属于后者特点的是: ABCD
- A. 速度快
 - B. 抗震耐摔
 - C. 运行噪音小
 - D. 体积小
 - E. 同样容量的价格更低
 - F. 支持写入的寿命更长
15. (4 分) 下面这段代码哪些地方体现了局部性原理? 分别体现了什么类型的局部性。

```
int sum_array_rows(int a[M][N])
{
    int i, j, sum = 0;
    for (i = 0; i < M; i++)
        for (j = 0; j < N; j++)
            sum += a[i][j];
    return sum;
}
```

答: 共四种情况: 指令、数据、空间、时间局部性。各 1 分: 1) 顺序执行的指令序列, 体现空间局部性; 2) 循环内部指令会反复执行, 体现时间局部性; 3) sum 等变量反复被读写, 体现时间局部性; 4) 数组 a 中的数据按地址依次被读取, 体现空间局部性。

第 13 讲 (16 分) 得分: _____

16. (6 分) 高速缓存 (Cache) 的三种未命中 (Miss) 是什么, 分别说明出现的场景。

答: 三种名称各 1 分 (中英文回答一种即可), 把命中称为失效, 也算对

(1) 冷启不命中 (义务不命中), Cold(compulsory) miss

(2) 容量不命中, Capacity miss

(3) 冲突不命中, Conflict miss

三种对应场景各 1 分 (简要描述即可), 详见第 13 讲课件第 8 页。

17. (8 分) 有一个计算机系统, 存储地址空间为 64 字节; 采用直接映射(Direct-mapped) 的数据高速缓存 (cache), 其容量为 16 字节; 每个高速缓存块 (cache block) 为 4 字节 (B=4Byte/block); 采用写分配 (write-allocate)、写返回 (write-back) 策略。Cache 的当前状态如下表。

	v	Tag	Block
set0	1	11	Mem[48-51]
set1	1	00	Mem[4-7]
set2	1	10	Mem[40-43]
set3			

经过如下地址访问序列后 (十进制表示, 每次访问 1 个字节): 18 40 50 16 43 48, 在上表中更新 Cache 的状态。这个序列过程中, 该高速缓存发生 2 次 Hit 和 4 次 Miss。

(注: 表格每行 2 分, 一行全对才得分; 填空每空 2 分)

18. (2 分) Intel Core i7 CPU 的 L2 Cache 容量, 最有可能是下面哪种: (C)

A. 4kB B. 32kB C. 256kB D. 8MB

第 14/15 讲 (14 分) 得分: _____

19. (4 分) 编译优化时会有两种限制情况, 分别解释说明原因。

答:

(1) 为什么有“过程调用”限制:

过程调用可能存在“边带效应”的操作, 例如改变某些全局变量或静态变量的值 (1 分);

即使给定相同参数, 过程调用的返回值可能会不同, 如受全局变量影响等 (1 分)。

(2) 为什么有“存储器别名”限制:

两个看起来不同的内存引用, 可能指向相同的内存位置 (1 分); 一些编程语言 (如 C

语言) 允许这样的操作存在或者不检查这样的问题 (1 分)。

20. (不定项选择, 2 分) 下面这段代码中, 属于链接器要解析的符号包括: ADEG

A.include B.stdio.h C.int D.cnt
E.print_value F.x G.main H.val

```
-----
#include <stdio.h>
int cnt = 10;
extern void print_value(int x);
int main() {
    int val = 5;
    print_value(val + cnt);
    return 0;
}
```

21. (8 分) 下面是一段 C 代码 main.c 和对应目标文件 main.o 反汇编得到的代码。

```
-----
int array[2] = {1, 2};
int main(int argc, char** argv){
    int val = sum(array, 2);
    return val;
}
-----
0000000000000000 <main>:
0:  55                push   %rbp
1:  48 89 e5          mov    %rsp,%rbp
4:  48 83 ec 20       sub    $0x20,%rsp
8:  89 7d ec          mov    %edi,-0x14(%rbp)
b:  48 89 75 e0       mov    %rsi,-0x20(%rbp)
f:  be 02 00 00 00    mov    $0x2,%esi
14: bf 00 00 00 00    mov    $0x0,%edi
19: e8 00 00 00 00    callq 1e <main+0x1e>
1e: 89 45 fc          mov    %eax,-0x4(%rbp)
21: 8b 45 fc          mov    -0x4(%rbp),%eax
24: c9                leaveq
25: c3                retq
-----
```

(1) 地址 14 对应的 mov 指令，为什么要把 0 放到 edi 寄存器中?按源代码看，应该是要放什么数，这里为什么是 0，后续还会有什么操作?

答: 要放到 edi 中的数据是数组 array 的首地址 (1 分)；编译成目标文件时，array

数组在内存中的位置还不确定，所以用 0 代替（1 分）；后续由链接器（1 分）进行重定位（1 分），填上正确的数值。注：描述不用一模一样，按上述标记分数的关键点给分。

（2）地址 19 对应的 callq 指令，看起来会转到地址 1e，即下一条指令，这不合理，为什么？

答：callq 指令要跳转到 sum 函数的起始地址（1 分）；编译成目标文件时，sum 函数在内存中的位置还不确定，所以用 0 代替（1 分）；按照 callq 指令的编码规则，指令中保存的是 callq 下一条指令和要跳转的目标地址的差值，因为现在用 0 填充，所以反汇编显示成下一条指令的地址，即 1e（2 分）。注：描述不用一模一样，按上述标记分数的关键点给分。

第 16/17 讲（12 分）得分：_____

22.（3 分）整数运算中有可能出现“除 0 异常”，如果这是属于 Faults 类型的异常，是否可以在异常处理程序中，将结果修改成某个特殊值，例如全为 1 的二进制数，然后继续执行该程序（指整数运算那个程序）后续指令？

答：不可以（1 分）。Faults 类型的异常，从异常处理程序返回后，要重新执行这条“除 0”指令，导致再次发生异常。所以只能终止该进程。（2 分）注：如果一开始的结论就不对，后面如何解读都不得分。

23.（3 分）阅读下面这段程序

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main() {
    printf("A\n");
    pid_t pid = fork();
    if (pid == 0) {
        printf("B\n");
    } else {
        printf("C\n");
        fork();
    }
    printf("D\n");
    return 0;
}
```

该程序正常运行后，问

（1）会输出几次 D：3 次

(2) B 和 C 哪个先输出: 不确定

(3) ACDBDD 这个输出序列是否可能: 是 (✓) 否 ()

24. (6 分) 阅读下面这段程序

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>
int x = 1;
int main() {
    printf("start: x = %d\n", x);
    pid_t pid1 = fork();
    if (pid1 == 0) {
        x += 1;
        printf("x = %d\n", x);
        sleep(1);
        pid_t pid2 = fork();
        if (pid2 == 0) {
            x += 2;
            printf("x = %d\n", x);
        } else {
            x += 3;
            printf("x = %d\n", x);
            wait(NULL);
        }
    } else {
        x += 4;
        printf("x = %d\n", x);
        wait(NULL);
        printf("x = %d\n", x);
    }
    return 0;
}
```

(1) (2 分) 这个程序正常运行, 会产生几个进程? (3)

(2) (2 分) 总共会输出多少行? (6)

(3) (2 分) 最后一行输出是: D

A.x=2 B.x=3 C.x=4 D.x=5 E.x=6 F.不确定