

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：2022 年 12 月 19 日 小班号：_____

题号	一	二	三	四	五	六	七	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。

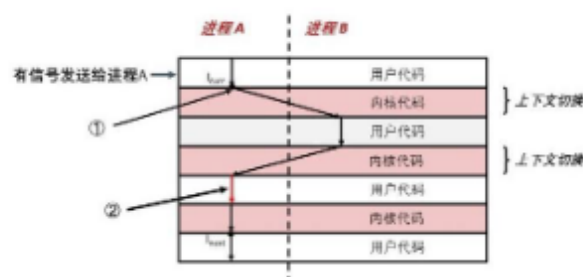
以下为试题和答题纸，共 14 页。

第一题 填空 (30 分)

- 对比指令系统体系结构 (ISA) 的两大类别, _____ 通常比 _____ 的指令数量
和寻址方式都少。
- 这是一个 IEEE754 标准的单精度浮点数的十六进制形式: (41 20 00 00)₁₆。该数转换成十
进制是_____。(提示: 指数域有 8 比特)
- 在 x86-64/Linux 的约定中, 函数传递参数的前两个分别放在 _____ 和 _____ 寄存器。
- 为了构造可执行文件, 静态链接器必须完成 _____ 和 _____ 这
两个主要任务。
- 在当前的 Linux 系统中, 延迟绑定是通过两个数据结构之间的交互来实现的, 这两个重
要的数据结构分别是 _____ 和 _____。
- a 和 b 表示当前目录中的目标模块或者静态库, 而 a—>b 表示 a 依赖于 b, 也就是说 b
定义了一个被 a 占用的符号。对于下面的每种场景, 请给出最小的命令行 (即一个含有
最少数量的目标文件和库参数的命令), 使得静态链接器能解析所有的符号引用。
① p.o —> libx.a —> liby.a

② p.o —> libx.a —> liby.a 且 liby.a —> libx.a —> p.o

- 请根据下图所示流程完成填空。
① 处发生了什么? _____。
② 执行的代码是什么? _____。



- 实现 Shell 程序时, 在解析了命令行后, 会检查第一个命令行参数是否是一个内置 Shell
命令。如果不是, 则 Shell 程序会调用 _____ ① _____ 和 _____ ② _____ 函数完成命令
行命令。
- 在支持虚拟地址空间的系统中, CPU 取到虚拟地址后, 发给 _____ ① _____, 由①
将虚拟地址转换为物理地址。为了加快地址翻译速度, 需要在①中引入
② _____。

10. 假设一个小型系统：内存按字节寻址，内存访问按 1 个字节完成。虚拟地址空间为 2^{14} ，物理内存空间为 2^{12} ，页面大小为 2^6 。TLB 是 4 路组相联，有 16 个条目。页表是一级页表。

TLB 内如下表所示：

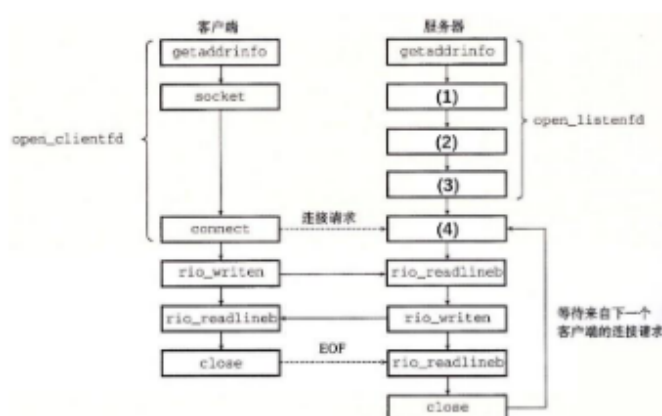
Set	Tag	PPN	Valid	Tag	PPN	Valid	Tag	PPN	Valid	Tag	PPN	Valid
0	03	-	0	09	0D	1	00	-	0	07	02	1
1	03	2D	1	02	-	0	04	-	0	0A	-	0
2	02	-	0	08	-	0	06	-	0	03	-	0
3	07	-	0	03	0D	0	0A	34	1	02	-	0

页表的前 16 项如下表所示：

VPN	PPN	Valid	VPN	PPN	Valid
00	28	1	08	13	1
01	-	0	09	17	1
02	33	1	0A	09	1
03	02	1	0B	-	0
04	-	0	0C	-	0
05	16	1	0D	2D	1
06	-	0	0E	17	1
07	-	0	0F	0D	1

如果 CPU 执行取到一条虚拟地址为 0x0395，经地址翻译后，该虚拟地址对应的物理地址是_____。

11. Linux 中可以一个磁盘上的文件与虚拟内存中的区域关联起来，这一过程称为_____。
12. IP 地址可以用十六进制表示，也可以用点分十进制表示。请写出 IPv4 地址`0x24982c5f`的点分十进制表示：_____。
13. 下图给出了一个典型的客户端-服务器套接字交互流程。应当填在空(2)处的函数名称是：_____ (accept / bind / listen / socket)。



14. 多线程的执行模型在某些方面和进程的执行模型是相似的。每个进程开始生命周期时都是单一线程，这个线程称为主线程 (main thread)。在某一时刻，主线程创建一个_____，从这个时间点开始，两个线程就并发地运行。
15. 以提供互斥为目的的二元信号量常常也称为_____。

第二题 处理器 (15 分)

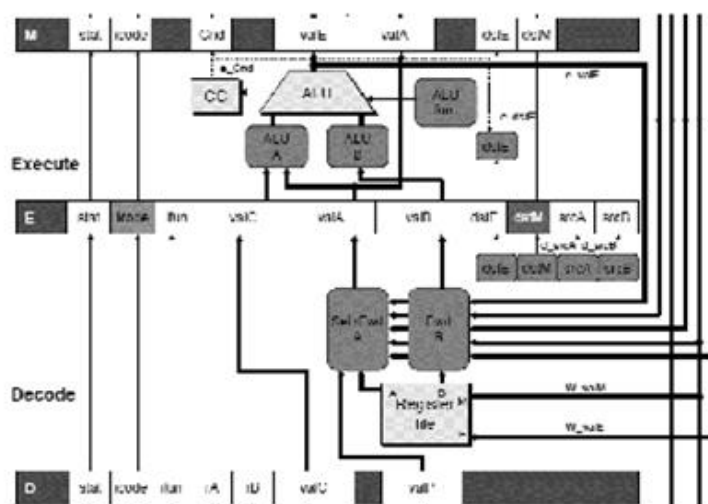
基于本课程教材中讲述的 Y86 流水线处理器结构, 如果一条 `mrmovq` 指令的目标寄存器在紧随的指令里作为源操作数使用了, 就会导致“load-use”冒险, 是无法通过前递 (Forwarding) 技术解决的。

(1) 要解决“load-use”冒险, 首先要能检测出来。根据下面的处理器信号连接图, 补全检测“load-use”冒险的 HCL 表达式。(每空 1 分)

_____ in { `IMRMOVQ`, `IPOPQ` } && `E_dstM` in { _____, _____ }

(2) 检测到“load-use”冒险后, 各流水级应该如何设置? 在下表中填入 `normal/stall/bubble`。(每空 1 分)

F	D	E	M	W
stall				normal



(3) `ret` 指令因为在流水线很晚阶段才能获得转移目标地址, 所以也要特殊处理。参考上面的处理器信号连接图 (注意: 图中信号可能不完整, 但足够推测出所需的信号), 补全检测 `ret` 指令处理时机的 HCL 表达式。(每空 1 分)

`IRET` in { _____, _____, _____ }

(4) 检测到需要处理的 `ret` 指令后, 各流水级应该如何设置? 在下表中填入 `normal/stall/bubble`。(每空 1 分)

F	D	E	M	W
stall				normal

(5) 执行 `ret` 指令时, 其后会插入_____个周期的 `bubble`。(1 分)

(6) 什么场景下, 上面提到的 `load-use` 和 `ret` 需要处理的情况会同时出现? (2 分)

第三题 链接 (10 分)

本题基于下列 c 语言文件所编译生成的 main.o 和 addvec.o, 编译和运行在 X86-64/Linux 下完成, 编译过程未加优化选项。

<pre>//main.c #include <stdio.h> #include "vector.h" int x[2] = {1, 2}; int z[2]; int main(int argc, char** argv){ int y[2] = {3, 4}; int n=2; addvec(x,y,z,n); printf("z=[%d %d]\n",z[0],z[1]); return 0; }</pre>	<pre>//addvec.c void addvec(int *x, int *y, int *z, int n) { int i; for (i = 0; i < n; i++) z[i] = x[i] + y[i]; }</pre>
--	--

(1) 对于每个下表中给出的符号, 请用“是”或“否”指出它是否在模块 main.o 的 .symtab 节中有符号表条目。如果存在条目, 则请指出该符号的符号类型 (局部、全局或外部)。并进一步指出定义该符号的模块 (main.o 或 addvec.o)、以及此符号在该模块中所处的节名或伪节名; 如果不存在条目, 则请将该行后继空白处标记为“/”。

符号	.symtab 条目?	符号类型	定义符号的模块	节或伪节名
x				
y				
z				
n				
addvec				

(2) 基于 main.o 和 addvec.o 生成可执行程序 m 的时候, 会进行若干重定位。下述代码是对可执行程序 m 执行 objdump -D m 以后的片段结果, 请根据相关信息进行填空。

```
0000000000400238 <.interp>:
400238: 2f                (bad)
400239: 6c                insb   (%dx),%es:(%rdi)
40023a: 69 62 36 34 2f 6c 64  imul   $0x646c2f34,0x36(%rdx),%eax
400241: 2d 6c 69 6e 75      sub    $0x756e696c,%eax
400246: 78 2d             js     400275 <_init-0x153>
400248: 78 38             js     400282 <_init-0x146>
40024a: 36               ss
40024b: 2d 36 34 2e 73      sub    $0x732e3436,%eax
400250: 6f               outsl  %ds:(%rax),(%dx)
400251: 2e 32 00          xor     %cs:(%rax),%al
...

00000000004003e0 <printf@plt-0x10>:
4003e0: ff 35 0a 0c 20 00    pushq 0x200c0a(%rip)    # 600ff0 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_+0x6>
4003e6: ff 25 0c 0c 20 00    jmpq   +0x200c0c(%rip)  # 600ff8 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_+0x10>
4003ec: 0f 1f 40 00         nopl   0x0(%rax)

00000000004003f0 <printf@plt>:
4003f0: ff 25 0a 0c 20 00    jmpq   +0x200c0a(%rip)  # 601000 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_+0x18>
4003f6: 68 00 00 00 00      pushq  $0x0
4003fb: e9 e0 ff ff ff      jmpq   4003e0 <_init+0x18>
0000000000400400 <__libc_start_main@plt>:
400400: ff 25 02 0c 20 00    jmpq   +0x200c02(%rip)  # 601008 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_+0x20>
400406: 68 01 00 00 00      pushq  $0x1
40040b: e9 d0 ff ff ff      jmpq   4003e0 <_init+0x18>
...

0000000000400528 <main>:
400528: 55                push   %rbp
400529: 48 89 e5          mov     %rsp,%rbp
40052c: 48 83 ec 20       sub     $0x20,%rsp
400530: 89 7d ec          mov     %edi,-0x14(%rbp)
```

```

400533: 48 89 75 e0      mov     %rsi,-0x20(%rbp)
400537: c7 45 fc 02 00 00 movl    $0x2,-0x4(%rbp)
40053e: 8b 45 fc         mov     -0x4(%rbp),%eax
400541: 89 c1           mov     %eax,%ecx
400543: ba _____  mov     $_____,%edx
400548: be _____  mov     $_____,%esi
40054d: bf _____  mov     $_____,%edi
400552: e8 _____  callq   _____
400557: 8b 15 _____  mov     _____(%rip),%edx
40055d: 8b 05 _____  mov     _____(%rip),%eax
400563: 89 c6           mov     %eax,%esi
400565: bf _____  mov     $_____,%edi
40056a: b8 00 00 00 00   mov     $0x0,%eax
40056f: e8 _____  callq   _____<printf@plt>
400574: b8 00 00 00 00   mov     $0x0,%eax
400579: c9             leaveq  _____
40057a: c3             retq
40057b: 90             nop
000000000040057c <addvec>:
40057c: 55             push    %rbp
40057d: 48 89 e5       mov     %rbp,%rbp
400580: 48 89 7d e8     mov     %rdi,-0x18(%rbp)
400584: 48 89 75 e0     mov     %rsi,-0x20(%rbp)
400588: 48 89 55 d8     mov     %rdx,-0x28(%rbp)
40058c: 89 4d d4       mov     %ecx,-0x2c(%rbp)
40058f: c7 45 fc 00 00 00 movl    $0x0,-0x4(%rbp)
400596: eb 4a         jmp     4005e2<addvec+0x66>
400598: 8b 45 fc       mov     -0x4(%rbp),%eax
40059b: 48 98         cltq
40059d: 48 8d 14 85 00 00 lea     0x0(,%rax,4),%rdx
4005a4: 00
...
0000000000600fe0 <.got>:
...
0000000000600fe8 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_>:
600fe8: 10 0e         add     %cl, (%rsi)
600fea: 60           (bad)
...
600fff: 00 f6         add     %dh,%dh
601001: 03 40 00     add     0x0(%rax),%eax
601004: 00 00         add     %al, (%rax)
601006: 00 00         add     %al, (%rax)
601008: 06           (bad)
601009: 04 40         add     $0x40,%al
60100b: 00 00         add     %al, (%rax)
60100d: 00 00         add     %al, (%rax)
...
0000000000601020 <x>:
601020: 01 00         add     %eax, (%rax)
601022: 00 00         add     %al, (%rax)
601024: 02 00         add     (%rax), %al
...
0000000000601028 <y.2304>:
601028: 03 00         add     (%rax), %eax
60102a: 00 00         add     %al, (%rax)
60102c: 04 00         add     $0x0, %al
...
0000000000601038 <z>:
...

```

编号	重定位条目信息	应填入的重定位引用值
②	r.offset = 0x26 r.type = R_X86_64_32	r.symbol = x r.addend = 0
④	r.offset = 0x2b r.type = R_X86_64_PC32	r.symbol = addvec r.addend = -4

(3) 基于你对代码的分析, 生成该可执行程序的操作系统的动态链接器的路径是 ()

- A) /lib64/ld-linux-x86-64.so.2
- B) /lib/ld-linux-x86-64.so.2
- C) /lib/ld-x86-64-linux.so.2
- D) /lib64/ld-x86-64-linux.so.2

(4) 程序中 printf 的 PLT 表条目是 PLT[_____], GOT 表条目是 GOT[_____].
(填写数字即可)

第四题 关于异常控制流 (10 分)

信号是实现进程间通信的一种重要方式。以下程序中, 父进程借助信号把一个随机数传给子进程。

```
1. #include "csapp.h"
2. volatile int acc = 0;
3. volatile int count = 0;
4. void sigusr1_handler(int sig) {
5.     _____ G _____
6.     acc = acc * 2 + _A_;
7.     Kill(getppid(), SIGCONT);
8. }
9. void sigusr2_handler(int sig) {
10.    _____ H _____
11.    acc = acc * 2 + _B_;
12.    Kill(getppid(), SIGCONT);
13. }
14. void sigcont_handler(int sig) {}
15. int main() {
16.     sigset_t mask_all, mask_father, mask_child;
17.     Sigfillset(&mask_all);
18.     Sigfillset(&mask_father);
19.     Sigfillset(&mask_child);
20.     Sigdelset(&mask_father, SIGCONT);
21.     Sigdelset(&mask_child, SIGUSR1);
22.     Sigdelset(&mask_child, SIGUSR2);
23.     Signal(SIGUSR1, sigusr1_handler);
24.     Signal(SIGUSR2, sigusr2_handler);
25.     Signal(SIGCONT, sigcont_handler);
26.     _C_ (SIG_SETMASK, _D_, NULL);
27.
28.     pid_t pid = Fork();
```

```

29.     if (pid == 0) {
30.         for (int i = 0; i < sizeof(int) * 8; i++)
31.             __E__(&mask_child);
32.         printf("child:0x%x\n", acc);
33.     }
34.     else {
35.         srand(time(NULL));
36.         int r = rand();
37.         printf("father:0x%x\n", r);
38.         for (int i = 0; i < sizeof(int) * 8; i++) {
39.             if (r & (__F__ << 31 - i))
40.                 Kill(pid, SIGUSR2);
41.             else
42.                 Kill(pid, SIGUSR1);
43.             __E__(&mask_father);
44.         }
45.         Wait(NULL);
46.     }
47. }

```

1. 假设 G, H 处都为空, 该程序需要使得父进程和子进程的输出相同。(共 6 分, 每空 1 分)

(1) 程序填空:

A: _____
 B: _____
 C: _____
 D: _____
 E: _____
 F: _____

(2) 第 43 行的代码是必须的吗? 如果“是”, 请用一句话描述去掉了这一行代码会发生什么。(2 分)

2. 假设 G 处填写 `if (count % 3 == 0) return;` 在 H 处填写 `count++;`
 如果第 36 行生成的随机数是 `0xaaaaaaaa`, 则子进程的输出是
 child:0x_____ (1 分), 简要说明理由。(1 分)

第五题 虚拟内存管理 (10 分)

- 1、典型的 Linux 进程的虚拟内存布局如下图所示, 请分别给出①②③④对应存放的内容。
 (每小题 1 分, 共 4 分)



2、如上题给出的 Linux 进程的虚拟内存布局图，如果执行 `*(int*)main=0`，会出现何种结果？如果在②和③之间的地址空间位置执行 `mov $0x0a, count`，会出现何种结果？（忽略 `count` 的实际意义，假设能正常通过编译）（每小题 1 分，共 2 分）

3、内存安全（共 4 分，找出一个错误给 1 分）

以下代码有 4 处内存安全错误，请指出所在代码行行号并简要说明。

注意：

- 1) 请仔细阅读注释；
- 2) 不需要考虑库函数的错误和库函数调用出错的情况（因此不需要考虑返回值检查）；
- 3) 说明时加上必要的代码行号，请使用简洁的语言；
- 4) 只需说明为什么会出错，无需给出修补方法。

```

5) #include <assert.h>
6) #include <stdio.h>
7) #include <stdlib.h>
8)
9) // There're 4 memory safety bugs
10)
11) // Assume all calls to library functions succeed
12) // For simplicity, our vector type can only hold ints.
13) typedef struct {
14)     int *data;    // Pointer to our array on the heap
15)     int  length;  // How many elements are in our array
16)     int  capacity; // How many elements our array can hold
17) } Stack;
18)
19) // Get a chunk of heap memory that can accomodate `size` in
    t number
20) int *get_heap_memory(int size) {
21)     int *new_data = (int *)malloc(size);
22)     assert(new_data != NULL);
23)     return new_data;
24) }

```

```

25)
26) Stack *stack_new() {
27)     Stack stack;
28)     stack.data      = get_heap_memory(1);
29)     stack.length    = 0;
30)     stack.capacity = 1;
31)     return &stack;
32) }
33)
34) void stack_push(Stack *stack, int n) {
35)     if (stack->length == stack->capacity) {
36)         int new_capacity = stack->capacity * 2;
37)
38)         int *new_data = get_heap_memory(new_capacity);
39)
40)         for (int i = 0; i < stack->length; ++i) {
41)             new_data[i] = stack->data[i];
42)         }
43)
44)         free(stack->data);
45)         stack->data      = new_data;
46)         stack->capacity = new_capacity;
47)     }
48)
49)     stack->data[stack->length] = n;
50)     stack->length += 1;
51) }
52)
53) int main() {
54)     Stack *stack = stack_new();
55)     stack_push(stack, 107);
56)
57)     int *n = &stack->data[0];
58)     stack_push(stack, 110);
59)     printf("%d\n", *n);
60)
61)     free(stack);
62) }

```

错误:

- (1) _____
- (2) _____
- (3) _____
- (4) _____

学完《网络编程》一章，小明迫不及待地想搭建自己的游戏服务器。他根据课本上代码写出的《网络乒乓》服务器代码如下。他在Class Machine上运行代码，TCP等协议都采用默认设置。请你根据代码回答问题。

```
1  #include "csapp.h"
2  #include "stdlib.h"
3  #include "stdio.h"
4  #define GOAL 100
5
6  int main(int argc, char **argv)
7  {
8      int listenfd, connfd;
9      socklen_t clientlen;
10     struct sockaddr_storage clientaddr;
11     char client_hostname[MAXLINE], client_port[MAXLINE], buf[MAXLINE];
12     if (argc != 2) {
13         fprintf(stderr, "usage: %s <port>\n", argv[0]);
14         exit(0);
15     }
16     listenfd = Open_listenfd(argv[1]); // Open listen socket
17     int ball_cnt = 0;
18     while (1){
19         clientlen = sizeof(struct sockaddr_storage);
20         connfd = Accept(listenfd, (SA *)&clientaddr, &clientlen); // Accept connection
21         Getnameinfo((SA *)&clientaddr, clientlen, client_hostname, MAXLINE,
22                     client_port, MAXLINE, 0);
23         printf("Connected to (%s, %s)\n", client_hostname, client_port);
24
25         rio_t rio;
26         Rio_readinitb(&rio, connfd);
27         Rio_readlineb(&rio, buf, MAXLINE);
28         int recv_num = atoi(buf);
29         if (recv_num == ball_cnt){
30             if (ball_cnt == GOAL){
31                 sprintf(buf, "You win!\n");
32                 Rio_writen(connfd, buf, strlen(buf));
33                 ball_cnt = 0;
34             }
35             else {
36                 sprintf(buf, "%d\n", ball_cnt+1);
37                 Rio_writen(connfd, buf, strlen(buf));
38                 ball_cnt += 2;
39             }
40         }
41         Close(connfd); // Close the connection
42     }
43     exit(0);
44 }
```

1. 函数 `Open_listenfd` 要建立的是可靠的TCP连接。因此，里面有一行代码设置了 `hints.ai_socktype = _____`；（`SOCK_STREAM` / `SOCK_DGRAM`）。（1分）
2. 函数 `Getnameinfo` 的用途是查询输入的_____（主机名对应的IP地址 / IP地址对应的主机名）。（1分）
3. 小明的朋友们对他的游戏都不感兴趣，小明只好自己写了一个客户端来玩自己的游戏。他的客户端代码如下：

```
1  #include "csapp.h"
2  #define GOAL 100
3
4  int main(int argc, char **argv){
5      int clientfd;
6      char *host, *port, buf[MAXLINE];
7      rio_t rio;
8
9      if (argc != 3){
10         fprintf(stderr, "usage: %s <host> <port>\n", argv[0]);
11         exit(0);
12     }
13     host = argv[1];
14     port = argv[2];
15
16     for (int ball_cnt=0; ball_cnt<=GOAL; ball_cnt+=2){
17         clientfd = Open_clientfd(host, port);
18         Rio_readinitb(&rio, clientfd);
19         sprintf(buf, "%d\n", ball_cnt);
20         Rio_writen(clientfd, buf, strlen(buf));
21         Rio_readlineb(&rio, buf, MAXLINE);
22         Fputs(buf, stdout);
23     }
24     exit(0);
25 }
```

他在同一台主机上运行服务器和客户端。他的操作流程是：

```
cd pingpong
nohup ./server 50000 > log.out &
./client _____
```

程序正常运行完毕，“You win!”出现在了她的屏幕上。小明查看log.out，里面的第一行是 `Connected to (localhost, 33580)`。请填入小明操作流程中缺失的两处信息。（2分）

4. 小明认为设置 `#define GOAL 100` 难度太低了，于是将服务器与客户端中的代码都改成了 `#define GOAL 100000`。他像之前一样运行服务器与客户端，结果发现客户端开始报错，并且始终没有输出“You win”。请你解释为什么修改成100000会让程序不能正常运行。（2分）

5、请在客户端中添加一行代码，使得`#define GOAL 100000`时也能正常运行。你添加的位置是现在的第____行之后，添加的代码内容是____。(2 分)

6、小红和小方听说了小明的高难度游戏，非常感兴趣。在小明合理配置服务器使得服务器能被访问到后，小红和小方同时在自己的电脑上运行客户端程序，与小明的服务器互动。假设小红、小方的电脑配置相同，网络延迟大小相同，并且整个过程中没有发生过重传。请推测，一段时间后，小红和小方：() (2 分)

- * A. 有且只有一个人的屏幕上会出现“You win!”。
- * B. 两个人的屏幕上都不会出现“You win!”。
- * C. 两个人的屏幕上都会出现“You win!”。

第七题 并发 (15 分)

1、第一类读者-写者问题（读者优先：总是给读者优先权，只要写者当前没有进行写操作，读者就能获得访问权；这种情况存在于读者很多，写者不经常更新的时候使用）

```
int readcnt;    /* Initially 0 */
sem_t mutex, w; /* Both initially 1 */

void reader(void)
{
    while (1) {
        /* 1 */
        readcnt++;
        if (readcnt == 1) /* First in */
            /* 2 */
            /* 3 */

        /* Reading happens here */

        /* 4 */
        readcnt--;
        if (readcnt == 0) /* Last out */
            /* 5 */
            /* 6 */
    }
}

void writer(void)
{

```



```

while (1) {
    /* 7 */

    /* Writing here */

    /* 8 */
}
}

```

2、第二类读者-写者问题（写者优先：写者具有优先权，将后来的读者延迟到所有等待的或活动的写者都完成为止；这种情况存在于经常更新的系统，而读者的目的是获取最新的数据）

```

int readcnt, writecnt;    // Initially 0
sem_t rmutex, wmutex;    // Initially 1
sem_t r, w;              // Initially /* 1 */
void reader(void)
{
    while (1) {
        /* 2 */
        P(&rmutex);
        readcnt++;
        /* 3 */
        V(&rmutex);
        /* 4 */

        /* Reading happens here */

        P(&rmutex);
        readcnt--;
        /* 5 */
        V(&rmutex);
    }
}

void writer(void)
{
    while (1) {
        P(&wmutex);
        writecnt++;
        /* 6 */
        V(&wmutex);

        P(&w);
        /* Writing here */
        V(&w);

        P(&wmutex);
        writecnt--;
        /* 7 */
        V(&wmutex);
    }
}

```