计算机系统基础
Programming Assignment

PA 2-1 – 指令解码与执行

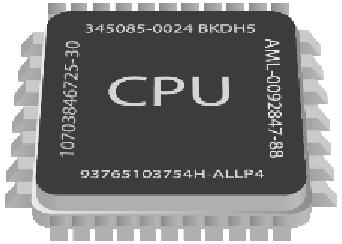
2022年3月18日

南京大学《计算机系统基础》课程组

提醒：PA-1有3位同学提交了代码但没有提交报告

汇编知识提要

- 不管什么语言写的程序，最后交给CPU执行的，都是机器指令的序列
- 这些指令与对应的汇编助记符一一对应



e9 00 00 00 00 55 89 e5 53 83 ec 10 e

jmp 30005; push %ebp; mov %esp,%ebp; push %ebx; sub $0x

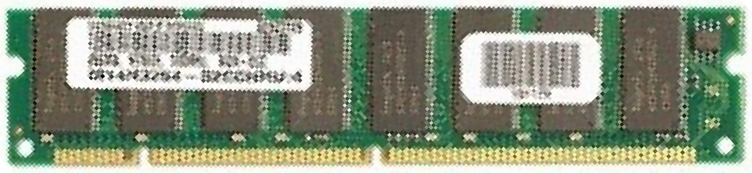
目录

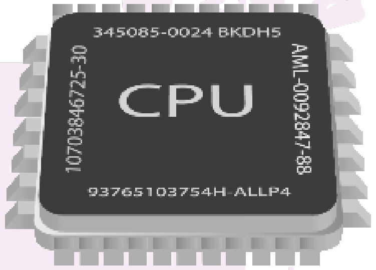
- 程序执行的宏观过程与模拟
- 单条指令的解码与NEMU实现

目录

- 程序执行的宏观过程与模拟
- 单条指令的解码与NEMU实现

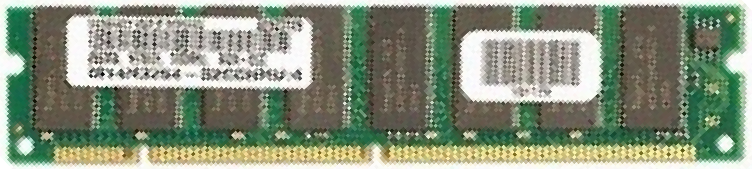
计算机执行程序的过程

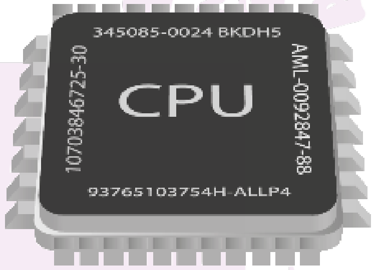




Windows: .exe
Linux: ELF

计算机执行程序的过程



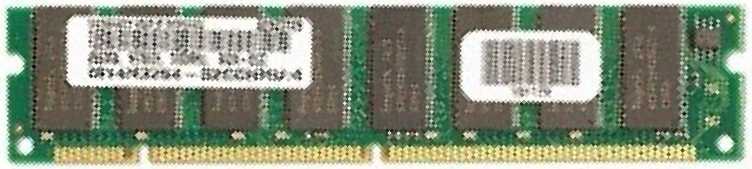


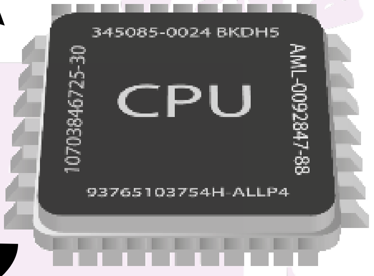
1. 将可执行文件中的指令、数据从外部存储器（如，硬盘）装载到内存中

Windows: .exe
Linux: ELF

PA 2-2 深入探讨
PA 2-1 简化实现

计算机执行程序的过程





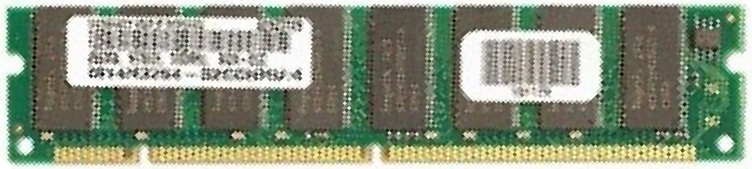
2. 循环往复地取指令、取操作数、执行、写操作数（若需要写）

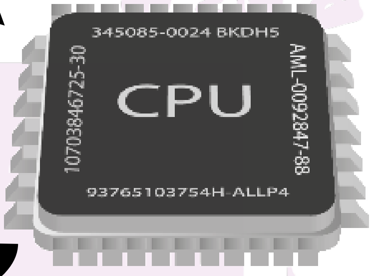
1. 将可执行文件中的指令、数据从外部存储器（如，硬盘）装载到内存中

Windows: .exe
Linux: ELF

PA 2-2 深入探讨
PA 2-1 简化实现

计算机执行程序的过程





2. 循环往复地取指令、取操作数、执行、写操作数（若需要写）

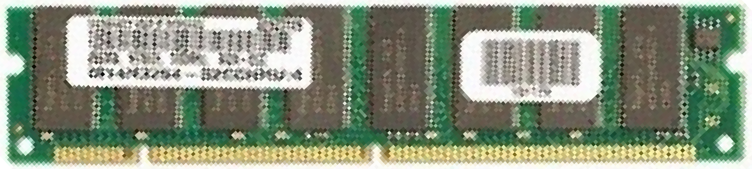
Windows: .exe
Linux: ELF

1. 将可执行文件中的指令、数据从外部存储器（如，硬盘）装载到内存中

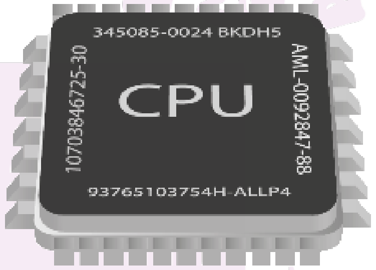
PA 2-2 深入探讨
PA 2-1 简化实现

NEMU模拟程序执行

nemu/src/memory/



nemu/src/cpu/



testcase/

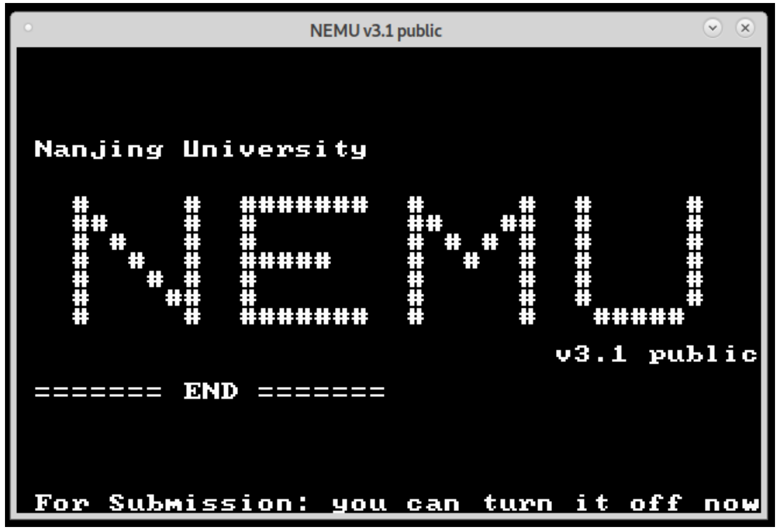
kernel/

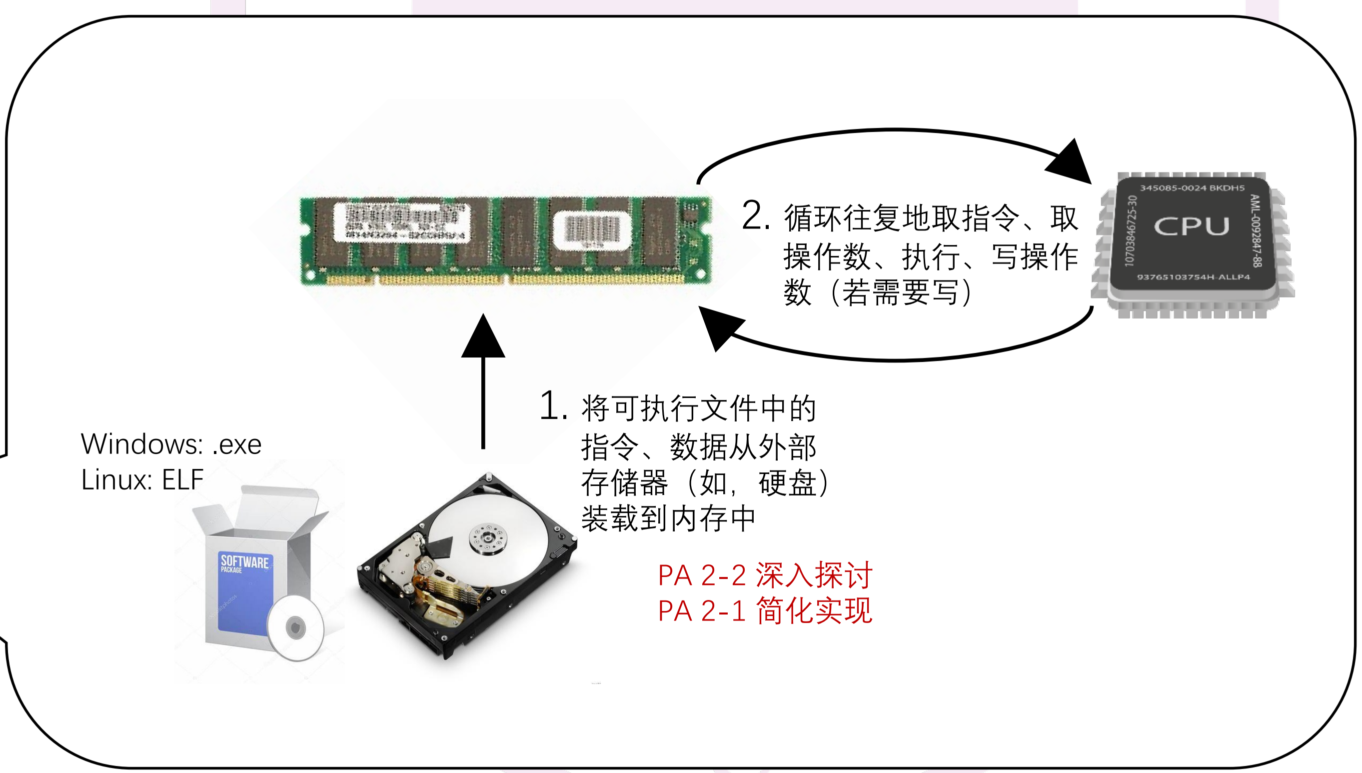
相关代码

PA 4-2 再模拟， 目前用内存中的ramdisk替代

NEMU模拟程序执行：PA 2-1

执行make run或者make test_pa-2-1运行PA 2-1任务





NEMU模拟程序执行：PA 2-1

执行make run或者make test_pa-2-1运行PA 2-1任务

第一步，编译得到测试用例的可执行文件和二进制镜像文件 ← 规则 testcase/Makefile


```
testcase/src/add.c
      ↓ gcc
testcase/bin/add          // ELF 格式的可执行文件，PA 2-2 处理
      ↓ objcopy
testcase/bin/add.img      // 二进制镜像文件，PA 2-1 使用
```

NEMU模拟程序执行：PA 2-1

执行make run或者make test_pa-2-1运行PA 2-1任务

第一步，编译得到测试用例的可执行文件和二进制镜像文件

规则

testcase/Makefile

规则

```
testcase/src/add.c
    ↓ gcc
testcase/bin/add
    ↓ objcopy
testcase/bin/add.img
```

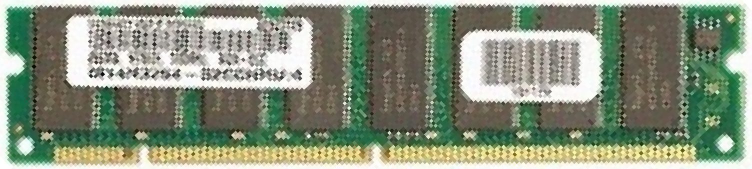
```
./nemu/nemu --autorun --testcase add
```

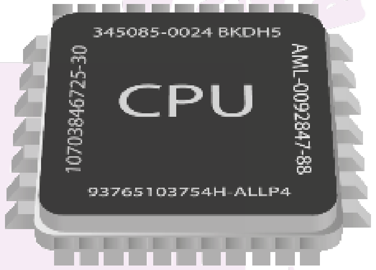
第二步，NEMU执行测试用例

添加自己的测试用例:

1. 添加testcase/src/my_case.c
2. 重新编译整个项目，或单独重新编译testcase
3. 控制台执行：./nemu/nemu --testcase my_case --autorun

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序

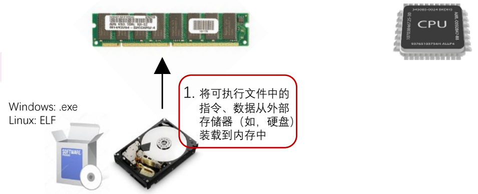




1. 将可执行文件中的指令、数据从外部存储器（如，硬盘）装载到内存中

Windows: .exe
Linux: ELF

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序



1.1 NEMU初始化模拟内存（PA 2-1的装载）

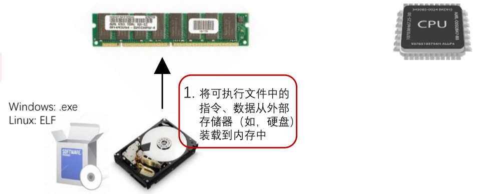
@ nemu/src/memory/memory.c

```
uint8_t hw_mem[MEM_SIZE_B]
```

```
Physical Address
 0x0                    0x30000                                      0x7FFFFFF
+-----------------+---+----------------+-----------------------------------------+
|Testcase ELF File | ~ |Testcase Binary|                  ~                       |
+-----------------+---+----------------+-----------------------------------------+
|< ---- RAM  Disk ---->|<--------------- Physical Memory ------------------->|
```

带有RAM Disk时的NEMU模拟内存划分方式

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序



1.1 NEMU初始化模拟内存（PA 2-1的装载）

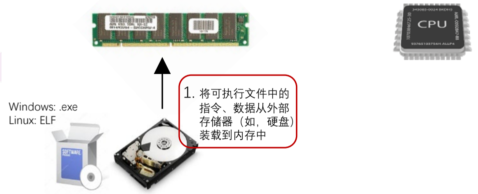
testcase/bin/add　　　testcase/bin/add.img

直接拷贝　　　load_exec() @ nemu/src/main.c:30

```
Physical Address
 0x0                        0x30000                                  0x7FFFFFF
+--------------------+----+--------------+--------------------------------+
|Testcase ELF File |  ~  |Testcase Binary|              ~                 |
+--------------------+----+--------------+--------------------------------+
|< ---- RAM  Disk ---->|<-------------- Physical Memory ---------------->|
```

带有RAM Disk时的NEMU模拟内存划分方式

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序



1.1 NEMU初始化模拟内存（PA 2-1的装载）

```
8d 4c 24 04 83 e4 f0 ff 71
fc 55 89 e5 53 51 e8 fc ff
……
```

反汇编

```
hello_world.o:     file format elf32-i386


Disassembly of section .text:

00000000 <main>:
   0:   8d 4c 24 04             lea    0x4(%esp),%ecx
   4:   83 e4 f0                and    $0xfffffff0,%esp
   7:   ff 71 fc                pushl  -0x4(%ecx)
   a:   55                      push   %ebp
   b:   89 e5                   mov    %esp,%ebp
   d:   53                      push   %ebx
   e:   51                      push   %ecx
   f:   e8 fc ff ff ff          call   10 <main+0x10>
```

```
Physical Address
 0x0                        0x30000
+-------------------+---+-----------------+-------------------------------------+
|Testcase ELF File  | ~ |Testcase Binary|                 ~                   |
+-------------------+---+-----------------+-------------------------------------+
|< ---- RAM  Disk ---->|<---------------- Physical Memory ------------------->|
```

带有RAM Disk时的NEMU模拟内存划分方式

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序

1.2 NEMU初始化CPU

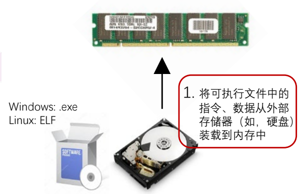
init_cpu()
@ nemu/src/cpu/cpu.c:17

初始化EIP和ESP

```
Physical Address
 0x0                                0x30000                              0x7FFFFFF
+-------------------+----+----------------+----------------------------------------+
|Testcase ELF File  | ~  |Testcase Binary|                  ~                      |
+-------------------+----+----------------+----------------------------------------+
|< ---- RAM  Disk ---->|<--------------- Physical Memory ------------------->|
```

带有RAM Disk时的NEMU模拟内存划分方式

NEMU模拟程序执行：1. 装载程序



1.2 NEMU初始化CPU

init_cpu()
@ nemu/src/cpu/cpu.c:17

8d 4c 24 04 83 e4 f0 ff 71
fc 55 89 e5 53 51 e8 fc ff
……

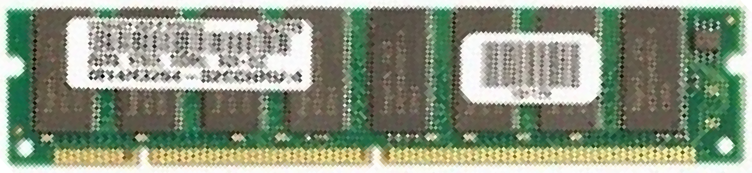
初始化EIP和ESP

指向测试用例的第一条指令

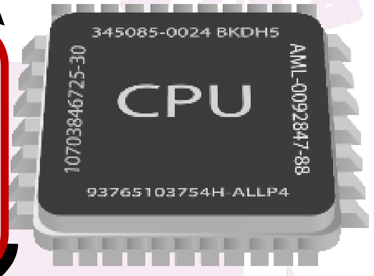
```
Physical Address
 0x0                                0x30000                                   0x7FFFFFF
+---------------------+---+-------------------+----------------------------------------+
|Testcase ELF File | ~ |Testcase Binary|                 ~                      |
+---------------------+---+-------------------+----------------------------------------+
|< ---- RAM  Disk ---->|<---------------- Physical Memory ------------------->|
```

带有RAM Disk时的NEMU模拟内存划分方式

计算机执行程序的过程



2. 循环往复地取指令、取操作数、执行、写操作数（若需要写）

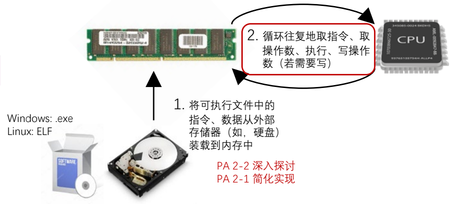


1. 将可执行文件中的指令、数据从外部存储器（如，硬盘）装载到内存中

Windows: .exe
Linux: ELF

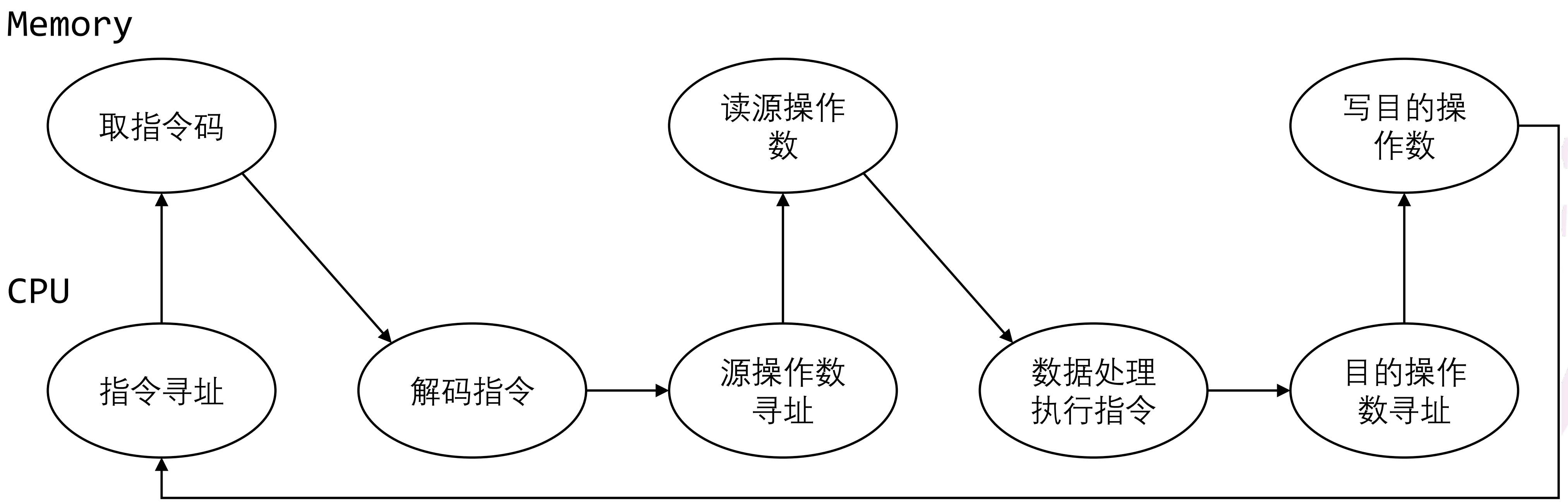
PA 2-2 深入探讨
PA 2-1 简化实现 √

NEMU模拟程序执行：2. 执行程序



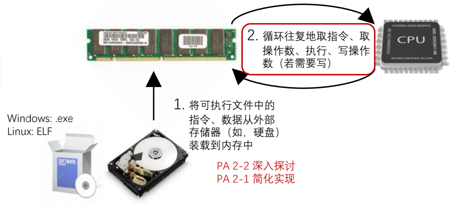
在C语言里如何模拟
这个循环往复的过程？

指令的顺序执行流程



EIP指向下一条指令

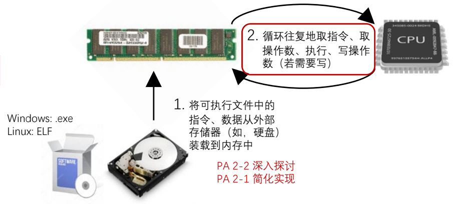
NEMU模拟程序执行： 2. 执行程序



nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n)
{
        …
        nemu_state = NEMU_RUN;
        while (n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
        {       // 执行eip指向的指令
                instr_len = exec_inst();
                // eip指向下一条指令
                cpu.eip += instr_len;
                n--;
                …
        }
        …
}
```

NEMU模拟程序执行： 2. 执行程序



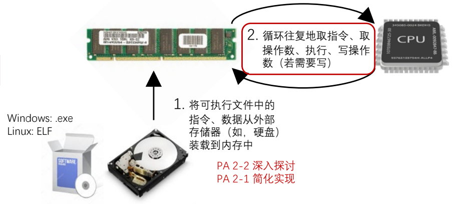
nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n)
{
	…
	nemu_state = NEMU_RUN;
	while (n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
	{	// 执行eip指向的指令
		instr_len = exec_inst();
		// e
		cpu.e
		n--;
		…
	}
	…
}
```

```
int exec_inst()
{
	uint8_t opcode = 0;
	opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
	int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
	return len;
}
```

nemu/src/cpu/cpu.c

NEMU模拟程序执行：2. 执行程序



nemu/src/cpu/cpu.c

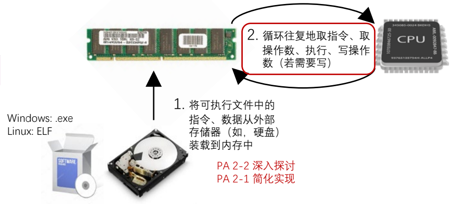
```c
void exec(uint32_t n)
{
	…
	nemu_state = NEMU_RUN;
	while (n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
	{	// 执行eip指向的指令
		instr_len = exec_inst();
		// (
		cpu.(
		n--;
		…
	}
	…
}
```

```c
int exec_inst()
{
	uint8_t opcode = 0;
	opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
	int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
	return len;
}
```

读cpu.eip内存地址处，1字节的数据（指令操作码）

nemu/src/cpu/cpu.c

NEMU模拟程序执行：2. 执行程序



nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n)
{
        …
        nemu_state = NEMU_RUN;
        while (n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
        {       // 执行eip指向的指令
                instr_len = exec_inst();
                // e
                cpu.e
                n--;
                …
        }
        …
}
```

```
int exec_inst()
{
        uint8_t opcode = 0;
        opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
        int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
        return len;
}
```

解码并执行该指令，返回指令长度

nemu/src/cpu/cpu.c

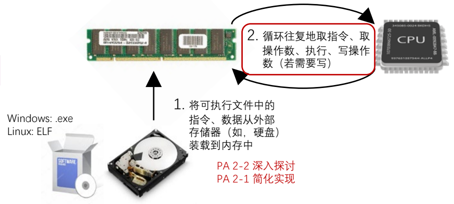
```c
void exec(uint32_t n) {        nemu/src/cpu/cpu.c
        ...
        while( n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN) {
                ...
                instr_len = exec_inst();
                cpu.eip += instr_len;
                n--;
                ...
        }
        ...
}

int exec_inst() {
        uint8_t opcode = 0;
        // get the opcode,  取操作数
        opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
        // instruction decode and execution,  执行这条指令
        int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
        return len;  // 返回指令长度
}
```

1. 取指令

2. 模拟执行

3. 根据指令长度
更新EIP，指向
下一条指令

NEMU模拟程序执行：2. 执行程序



nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n)
{
        …
        nemu_state = NEMU_RUN;
        while (n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
        {       // 执行eip指向的指令
                instr_len = exec_inst();
                // e
                cpu.e
                n--;
                …
        }
        …
}
```

```
int exec_inst()
{
        uint8_t opcode = 0;
        opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
        int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
        return len;
}
```

解码并执行该指令，返回指令长度

how to?

nemu/src/cpu/cpu.c

目录

- 程序执行的宏观过程与模拟
- 单条指令的解码与NEMU实现

指令的解码

EIP

▼

内存中的指令数据：8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

如何理解？怎么模拟？

指令的解码

EIP ▼

内存中的指令数据： 8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

(gcc接受的格式，也是我们写程序的格式)

AT&T格式： 指令长度后缀 源操作数, 目的操作数

movl $0x7, %eax

MOV EAX, 0x7

INTEL格式： 指令目的操作数, 源操作数

(i386手册上采用的格式)

不同的汇编
同一条指令

按i386指令集体
系结构的规定

指令的解码

EIP

内存中的指令数据：8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

操作码
(ModR/M中也可能包含一点)

各种前缀，我们只模拟operand-size prefix，其值为0x66

各种找到操作数（寻址）的办法

```
+-----------+-----------+-----------+--------+------+------+------+------------+-----------+
|instruction| address-  | operand-  |segment |opcode|ModR/M| SIB  |displacement| immediate |
|  prefix   |size prefix|size prefix|override|      |      |      |            |           |
|-----------+-----------+-----------+--------+------+------+------+------------+-----------|
|   0 OR 1  |   0 OR 1  |   0 OR 1  | 0 OR 1 |1 OR 2|0 OR 1|0 OR 1| 0,1,2 OR 4 |0,1,2 OR 4 |
| - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - |
|                                      number of bytes                                      |
+-------------------------------------------------------------------------------------------+
```

按i386指令集体系结构的规定

最大是4，体现我们是32位机

指令的解码

EIP

▼

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册

One-Byte Opcode Map

B

8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	ADD						PUSH	POP	OR						PUSH	2-byte
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	ES	ES	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	CS	escape
1	ADC						PUSH	POP	SBB						PUSH	POP
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	SS	SS	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	DS	DS
2	AND						SEG	DAA	SUB						SEG	DAS
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=ES		Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=CS	
3	XOR						SEG	AAA	CMP						SEG	AAS
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=SS		Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=CS	
4	INC general register								DEC general register							
	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
5	PUSH general register								POP into general register							
	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
6	PUSHA	POPA	BOUND	ARPL	SEG	SEG	Operand	Address	PUSH	IMUL	PUSH	IMUL	INSB	INSW/D	OUTSB	OUTSW/D
			Gv,Ma	Ew,Rw	=FS	=GS	Size	Size	~~Ib~~	GvEvIv	Ib	GvEvIv	Yb,DX	Yb,DX	Dx,Xb	DX,Xv
7	Short displacement jump of condition (Jb)								Short-displacement jump on condition(Jb)							
	JO	JNO	JB	JNB	JZ	JNZ	JBE	JNBE	JS	JNS	JP	JNP	JL	JNL	JLE	JNLE
8	Immediate Grpl			Grpl	TEST		XCNG		MOV				MOV	LEA	MOV	POP
	Eb,Ib	Ev,Iv		Ev,Iv	Eb,Gb	Ev,Gv	Eb,Gb	Ev,Gv	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	Ew,Sw	Gv,M	Sw,Ew	Ev
9	NOP	XCHG word or double-word register with eAX							CBW	CWD	CALL	WAIT	PUSHF	POPF	SAHF	LAHF
		eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI			Ap		Fv	Fv		
A	MOV				MOVSB	MOVSW/D	CMPSB	CMPSW/D	TEST		STOSB	STOSW/D	LODSB	LODSW/D	SCASB	SCASW/D
	AL,Ob	eAX,Ov	Ob,AL	Ov,eAX	Xb,Yb	Xv,Yv	Xb,Yb	Xv,Yv	AL,Ib	eAX,Iv	Yb,AL	Yv,eAX	AL,Xb	eAX,Xv	AL,Xb	eAX,Xv
B	MOV immediate byte into byte register								MOV immediate word or double into word or double register							
	AL	CL	DL	BL	AH	CH	DH	BH	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
C	Shift Grp2		RET near		LES	LDS	MOV		ENTER	LEAVE	RET far		INT	INT	INTO	IRET
	Eb,Ib	Ev,Iv	Iw		Gv,Mp	Gv,Mp	Eb,Ib	Ev,Iv	Iw,Ib		Iw		3	Ib		
D	Shift Grp2				AAM	AAD		XLAT	ESC(Escape to coprocessor instruction set)							
	Eb,1	Ev,1	Eb,CL	Ev,CL												
E	LOOPNE	LOOPE	LOOP	JCXZ	IN		OUT		CALL	JNP			IN		OUT	
	Jb	Jb	Jb	Jb	AL,Ib	eAX,Ib	Ib,AL	Ib,eAX	Av	Jv	Ap	Jb	AL,DX	eAX,DX	DX,AL	DX,eAX
F	LOCK		REPNE	REP	HLT	CMC	Unary Grp3		CLC	STC	CLI	STI	CLD	STD	INC/DEC	Indirect
				REPE			Eb	Ev							Grp4	Grp5

i386手册，pg. 414, Appendix A, One-Byte Opcode Map

One-Byte Opcode Map

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	ADD						PUSH	POP	OR						PUSH	2-byte
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	ES	ES	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	CS	escape
1	ADC						PUSH	POP	SBB						PUSH	POP
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	SS	SS	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	DS	DS
2	AND						SEG	DAA	SUB						SEG	DAS
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=ES		Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=CS	
3	XOR						SEG	AAA	CMP						SEG	AAS
	Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=SS		Eb,Gb	Ev,Gv	Gb,Eb	Gv,Ev	AL,Ib	eAX,Iv	=CS	
4	INC general register								DEC general register							
	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
5	PUSH general register								POP into general register							
	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
6	PUSHA	POPA	BOUND	ARPL	SEG	SEG	Operand	Address	PUSH	IMUL	PUSH	IMUL	INSB	INSW/D	OUTSB	OUTSW/D
			Gv,Ma	Ew,Rw	=FS	=GS	Size	Size	~~Ib~~	GvEvIv	Ib	GvEvIv	Yb,DX	Yb,DX	Dx,Xb	DX,Xv
7	Short displacement jump of condition (Jb)								Short-displacement jump on condition(Jb)							
	JO	JNO	JB	JNB	JZ	JNZ	JBE	JNBE	JS						JLE	JNLE
8	Immediate Grp1			Grp1	TEST		XCNG								MOV	POP
	Eb,Ib	Ev,Iv		Ev,Iv	Eb,Gb	Ev,Gv	Eb,Gb	Ev,Gv	Eb,Gb						Sw,Ew	Ev
9	NOP	XCHG word or double-word register with eAX							CBW	CWD	CALL	WAIT	PUSHF	POPF	SAHF	LAHF
		eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI			Ap		Fv	Fv		
A	MOV				MOVSB	MOVSW/D	CMPSB	CMPSW/D	TEST		STOSB	STOSW/D	LODSB	LODSW/D	SCASB	SCASW/D
	AL,Ob	eAX,Ov	Ob,AL	Ov,eAX	Xb,Yb	Xv,Yv	Xb,Yb	Xv,Yv	AL,Ib	eAX,Iv	Yb,AL	Yv,eAX	AL,Xb	eAX,Xv	AL,Xb	eAX,Xv
B	MOV immediate byte into byte register								MOV immediate word or double into word or double register							
	AL	CL	DL	BL	AH	CH	DH	BH	eAX	eCX	eDX	eBX	eSP	eBP	eSI	eDI
C	Shift Grp2		RET near		LES	LDS	MOV		ENTER	LEAVE	RET far		INT	INT	INTO	IRET
	Eb,Ib	Ev,Iv	Iw		Gv,Mp	Gv,Mp	Eb,Ib	Ev,Iv	Iw,Ib		Iw		3	Ib		
D	Shift Grp2				AAM	AAD		XLAT	ESC(Escape to coprocessor instruction set)							
	Eb,1	Ev,1	Eb,CL	Ev,CL												
E	LOOPNE	LOOPE	LOOP	JCXZ	IN		OUT		CALL	JNP			IN		OUT	
	Jb	Jb	Jb	Jb	AL,Ib	eAX,Ib	Ib,AL	Ib,eAX	Av	Jv	Ap	Jb	AL,DX	eAX,DX	DX,AL	DX,eAX
F	LOCK		REPNE	REP	HLT	CMC	Unary Grp3		CLC	STC	CLI	STI	CLD	STD	INC/DEC	Indirect
				REPE			Eb	Ev							Grp4	Grp5

B

8

MOV Gv, Ev

i386手册，pg. 414, Appendix A, One-Byte Opcode Map

MOV Gv, Ev

E A modR/M byte follows the opcode and specifies the operand. The operand is either a general register or a memory address. If it is a memory address, the address is computed from a segment register and any of the following values: a base register, an index register, a scaling factor, a displacement.

G The reg field of the modR/M byte selects a general register; e.g., ADD (00).

v Word or double word, depending on operand size attribute.

16位　　32位

i386手册，pg. 412，Appendix A

指令的解码

opcode
▼
8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
   - Intel格式，表示把一个Ev类型操作数MOV到Gv类型操作数里
   - objdump和gdb中采用的AT&T格式指令操作数顺序正好相反
   - 若有需要，到i386手册Chapter 17细查
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

指令的解码

MODR/M BYTE

7	6	5	4	3	2	1	0
MOD		REG/OPCODE			R/M		

i386手册， pg. 242， Section 17.2.1

指令的解码

opcode modr/m

▼ ▼

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev

3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

0x94 =	10	010	100
	MOD	REG/OPCODE	R/M

指令的解码

opcode modr/m

▼ ▼

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev

3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

根据Gv和没有0x66前缀，查i386手册表17.2，010表示edx

0x94 =	10	010	100
	MOD	REG/OPCODE	R/M

指令的解码

opcode modr/m

▼ ▼

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

查i386手册表17-3，发现是内存地址disp32[--][--]，还有SIB字节

0x94 =	10	010	100
	MOD	REG/OPCODE	R/M

指令的解码

opcode modr/m

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

sib

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

4. 根据Mod + R/M域决定有SIB字节（内存地址disp32[--][--]）

0x83 =	10	000	011
	SS	INDEX	BASE

SIB (SCALE INDEX BASE) BYTE

7	6	5	4	3	2	1	0
SS		INDEX			BASE		

i386手册，pg. 242，Section 17.2.1

指令的解码

opcode modr/m

▼ ▼

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

▲

sib

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节

内存地址 = disp32+ebx+eax*4

4. 根据Mod + R/M域决定有SIB字节（内存地址disp32[--][--]）

0x83 = 10 000 011

	SS	INDEX	BASE
查i386手册表17-4	*4	eax	ebx

指令的解码

opcode modr/m disp32

8b 94 83 00 11 00 00 8b 45 f4

sib

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节
4. 根据Mod + R/M域决定有SIB字节（内存地址disp32[--][--]）
5. SIB字节后面自然还有disp32 – 32位的偏移量（小端方式）

指令的解码

opcode modr/m disp32 后续指令

8b 94 83 00 11 00 00 | 8b 45 f4

sib EIP指向下一条指令

1. 不是0x66，操作数32位，0x8b为操作码
2. 查i386手册 – Appendix A – 0x8b对应MOV Gv, Ev
3. Ev和Gv都说明后面跟ModR/M字节
4. 根据Mod + R/M域决定有SIB字节（内存地址disp32[--][--]）
5. SIB字节后面自然还有disp32 – 32位的偏移量（小端方式）

6. 该指令所有需要的信息已经获得，对应AT&T格式汇编:

```
movl    0x1100(%ebx, %eax, 4),    %edx
```

目录

- 程序执行的宏观过程与模拟
- 单条指令的解码与NEMU实现

NEMU模拟指令解码和执行

```
void exec(uint32_t n) {
	...
	while( n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN) {
		...
		instr_len = exec_inst();
		cpu.eip += instr_len;
		n--;
		...
	}
	...
}

int exec_inst() {
	uint8_t opcode = 0;
	// get the opcode,  取操作数
	opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
	// instruction decode and execution,  执行这条指令
	int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
	return len;  // 返回指令长度
}
```

指令解码与执行

NEMU模拟指令解码和执行

- opcode_entry是一个函数指针数组
  - 其中每一个元素指向一条指令的模拟函数

访问 opcode_entry[opcode] == 调用对应位置指向的函数

实现某一条指令的功能

nemu/src/cpu/decode/opcode.c

```
#include "cpu/instr.h"
instr_func opcode_entry[256] = { … }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
// the type of an instruction entry
typedef int (*instr_func)(uint32_t eip, uint8_t opcode);
```

内存：　C7 05 48 11 10 00 02 00 00 00

当前EIP

```
void exec(uint32_t n) {
        ...
        while( n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN) {
                ...
                instr_len = exec_inst();
                cpu.eip += instr_len;
                n--;
                ...
        }
        ...
}

int exec_inst() {
        uint8_t opcode = 0;
        opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
        int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
        return len;  // 返回指令长度
}
```

nemu/src/cpu/cpu.c

1. cpu.eip指向C7

2. Opcode取出为C7

3. 访问数组即函数调用

4. 返回指令长度

5. 循环开启下一条指令

mov_i2rm_v是模拟C7指令的函数

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;
    rm.data_size = data_size;
    int len = 1;
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm);

    imm.type = OPR_IMM;
    imm.addr = eip + len;
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;
}
```

```
#include "cpu/instr.h"
instr_func opcode_entry[256] = {
        ...
/* 0xc4 - 0xc7*/          inv, inv, mov_i2rm_b, mov_i2rm_v,
        ...
}
```

nemu/src/cpu/decode/opcode.c

NEMU模拟指令解码和执行

- 怎么写某操作码对应的instr_func？

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                                 // 看教程§2-1.2.3
    rm.d
    int le
    len +                                                                  填写

    imm.
    imm.
    imm.

    oper
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;    // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

这是一条把一个立即数mov到R/M中的指令，操作数长度为16或32位

推荐命名规则：

指令名_源操作数类型2目的操作数类型_长度后缀

NEMU模拟指令解码和执行

- 在nemu/include/cpu/instr_helper.h中我们给出了用于精简指令实现的宏，一些实用信息（详细用法参阅教程，比较详尽）

#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) …

- inst_name就是指令的名称：mov，add，sub，…
- src_type和dest_type是源和目的操作数类型，与decode_operand系列宏一致：
  - rm – 寄存器或内存地址 – 对应手册E类型
  - r – 寄存器地址 – 对应手册G类型
  - i – 立即数 – 对应手册I类型
  - m – 内存地址 – 差不多对应手册M类型
  - a – 根据操作数长度对应al, ax, eax – 手册里没有
  - c – 根据操作数长度对应cl, cx, ecx – 手册里没有
  - o – 偏移量 – 对应手册里的O类型
- suffix是操作数长度后缀，与decode_data_size系列宏一致：
  - b, w, l, v – 8，16，32，16/32位
  - bv – 源操作数为8位，目的操作数为16/32位，特殊指令用到
  - short, near – jmp指令用到，分别指代8位和32位

你可以根据实际需要添加其他的宏或改写已有的宏

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                               // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;                 // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;        // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;       // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);        // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;   // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
#define make_instr_func(name) int name(uint32_t eip, uint8_t opcode)
```

```
    imm.type = OPR_IMM;        // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;        // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    ope
    rm.v
    ope

    retu                                                        长度
}
```

```
#include "cpu/instr.h"
instr_func opcode_entry[256] = { … }
```

对比一下
opcode_entry的类型

```
// the type of an instruction entry
typedef int (*instr_func)(uint32_t eip, uint8_t opcode);
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                                // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;                    // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;        // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;        // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);        // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;    // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPE
                                 // 看
    rm.data_size = data_size; // data_
    int len = 1;                   // opc
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm);

    imm.type = OPR_IMM;         // 填
    imm.addr = eip + len;        // 找
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);         // 执
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;    // op
}
```

nemu/include/cpu/operand.h

```
enum {OPR_IMM, OPR_REG, OPR_MEM, OPR_CREG, OPR_SREG};

typedef struct {
        int type;
// addr地址，随type不同解释也不同
        uint32_t addr;
        uint8_t sreg; // 现在不管
        uint32_t val;
// data_size = 8, 16, 32
        size_t data_size;
#ifdef DEBUG
        MEM_ADDR mem_addr;
#endif
}OPERAND;
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                               // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;                  // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;       // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;       // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);       // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;   // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;

    rm.data_size = data_size;
    int len = 1;
    len += modrm_rm(eip +

    imm.type = OPR_IMM;
    imm.addr = eip + len;
    imm.data_size = data_siz

    operand_read(&imm);
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;    // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

nemu/src/cpu/instr/data_size.c

```
uint8_t data_size = 32;

make_instr_func(data_size_16) {
        uint8_t op_code = 0;
        int len = 0;
        data_size = 16;
        op_code = instr_fetch(eip + 1, 1);
        len = opcode_entry[op_code](eip + 1, op_code);
        data_size = 32;
        return 1 + len;
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;         // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                              // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;              // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;       // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;     // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);       // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;   // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                               // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;               // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_I
    imm.addr = eip + l
    imm.data_size = da

    operand_read(&im
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rn

    return len + data_size / 8;    // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

nemu/src/cpu/decode/modrm.c

int modrm_rm(uint32_t eip, OPERAND * rm) ;

就是查表过程变成代码
会将传入的rm变量的type和addr（包括sreg）填好
返回解析modr/m所扫描过的字节数（包括可能的SIB和disp）

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;        // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                            // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;                  // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;       // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;      // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);       // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;   // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

// 宏展
make_i
    OPE

    rm.d
    int le
    len

    imm
    imm
    imm

    ope
    rm.v
    ope

    retu
}

nemu/src/cpu/decode/operand.c

```
void operand_read(OPERAND * opr) {
        switch(opr->type) {
                case OPR_MEM: …
                case OPR_IMM:
                        opr->val = vaddr_read(opr->addr, SREG_CS, 4);
                        break;
                case OPR_REG:
                        if(opr->data_size == 8) {
                                opr->val = cpu.gpr[opr->addr % 4]._8[opr->addr / 4];
                        } else {
                                opr->val = cpu.gpr[opr->addr]._32;
                        }
                        break;
                case OPR_CREG: …
                case OPR_SREG: …

        // deal with data size
        switch(opr->data_size) {
                case 8: opr->val = opr->val & 0xff; break;
                case 16: opr->val = opr->val & 0xffff; break;
                case 32: break;
                default: …
        }
}
```

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                              // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;              // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;       // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;     // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);       // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;  // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

执行mov操作并且写目的操作数

NEMU模拟指令解码和执行

```
// 宏展开后这一行即为 int mov_i2rm_v(uint32_t eip, uint8_t opcode) {
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;          // OPERAND定义在nemu/include/cpu/operand.h
                               // 看教程§2-1.2.3
    rm.data_size = data_size; // data_size是个全局变量，表示操作数的比特长度
    int len = 1;                // opcode 长度1字节
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm); // 读ModR/M字节，rm的type和addr会被填写

    imm.type = OPR_IMM;       // 填入立即数类型
    imm.addr = eip + len;      // 找到立即数的地址
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);       // 执行 mov 操作
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;   // opcode长度 + ModR/M字节扫描长度 + 立即数长度
}
```

返回指令长度

内存： C7 05 48 11 10 00 02 00 00 00

当前EIP

mov_i2rm_v是模拟C7指令的函数

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
make_instr_func(mov_i2rm_v) {
    OPERAND rm, imm;
    rm.data_size = data_size;
    int len = 1;
    len += modrm_rm(eip + 1, &rm);

    imm.type = OPR_IMM;
    imm.addr = eip + len;
    imm.data_size = data_size;

    operand_read(&imm);
    rm.val = imm.val;
    operand_write(&rm);

    return len + data_size / 8;
}
```

nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n) {
        ...
        while( n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN) {
                ...
                instr_len = exec_inst();
                cpu.eip += instr_len;
                n--;
                ...
        }
        ...
}

int exec_inst() {
        uint8_t opcode = 0;
        opcode = instr_fetch(cpu.eip, 1);
        int len = opcode_entry[opcode](cpu.eip, opcode);
        return len;  // 返回指令长度
}
```

nemu/src/cpu/decode/opcode.c

```
#include "cpu/instr.h"
instr_func opcode_entry[256] = {
        ...
/* 0xc4 - 0xc7*/          inv, inv, mov_i2rm_b, mov_i2rm_v,
        ...
}
```

1. cpu.eip指向C7

2. Opcode取出为C7

3. 访问数组即函数调用

4. 返回指令长度

5. 循环开启下一条指令

PA 2-1要做的任务：执行make run或make test_pa-2-1

需要修改Makefile来指定测试用例

```
invalid opcode(eip = 0x00030033): 83 f8 01 66 c7 05 34 12 ...

There are two cases which will trigger this unexpected exception:
1. The instruction at eip = 0x00030033 is not implemented.
2. Something is implemented incorrectly.
Find this eip value(0x00030033) in the disassembling result to distinguish which case it is.

If it is the first case, see
 _ _____   ___    __   __  __                             _ 
(_)___ ¥ / _ ¥  / /  |  ¥/  |                           | |
 _  __) | (_) |/ /_  | ¥  / | __ _ _ __  _   _  __ _| |
| ||__ < > _ <| '_ ¥ | |¥/| |/ _` | '_ ¥| | | |/ _` | |
| |___) | (_) | (_) || |  | | (_| | | | | |_| | (_| | |
|_|____/ ¥___/ ¥___/ |_|  |_|¥__,_|_| |_|¥__,_|¥__,_|_|

for more details.

If it is the second case, remember:
* The machine is always right!
* Every line of untested code is always wrong!
```

根据eip，结合打印出来的内存内容定位需要实现的指令

配合使用我们定制的objdump工具

Name
PA_2020_spring_Guide.pdf
README.md
objdump4nemu-i386

http://114.212.10.212/wl/pa2020_spring_guide

源码：https://gitee.com/wlicsnju/binutils4nemu

PA 2-1要做的任务：执行make run或make test_pa-2-1

1. **查i386手册得知这是一条什么指令**
   a) 先查appendix A得知指令的类型和格式
   b) 必要的话查section 17.2.1译码ModR/M和SIB字节
   c) 必要的话查section 17.2.2.11查看指令的具体含义和细节
2. **写该操作码对应的instr_func**
   a) 例如： make_instr_func(mov_i2rm_v)
3. **把这个函数在nemu/include/cpu/instr.h中声明一下**
4. **在opcode_entry对应该操作码的地方把这个函数的函数名填进去替代原来的inv**
5. **重复上述过程直至完成所有需要模拟的指令**

NEMU模拟指令解码和执行

- 针对这个框架有一些要特别注意的地方

nemu/src/cpu/cpu.c

```
void exec(uint32_t n) {
        ...
        while( n > 0 && nemu_state == NEMU_RUN)
        {
                ...
                instr_len = exec_inst();
                cpu.eip += instr_len;
                n--;
                ...
        }
        ...
}
```

这一步非常机械，对于某些指令，如特殊的jmp、ret中涉及到跳转到某一个绝对的地址（而非相对下一条指令起始地址的偏移量）时，要在实现时灵活指定指令长度为0，来规避cpu.eip += instr_len

实验目标

控制台

```
$ make clean
$ make test_pa-2-1
...
./nemu/nemu --autorun --testcase struct
NEMU load and execute img: ./testcase/bin/struct.img  elf: ./testcase/bin/struct
nemu: HIT GOOD TRAP at eip = 0x0003010c
NEMU2 terminated
./nemu/nemu --autorun --testcase string
NEMU load and execute img: ./testcase/bin/string.img  elf: ./testcase/bin/string
nemu: HIT GOOD TRAP at eip = 0x0003016a
NEMU2 terminated
./nemu/nemu --autorun --testcase hello-str
NEMU load and execute img: ./testcase/bin/hello-str.img  elf: ./testcase/bin/hello-str
nemu: HIT GOOD TRAP at eip = 0x00030105
NEMU2 terminated
./nemu/nemu --autorun --testcase test-float
NEMU load and execute img: ./testcase/bin/test-float.img  elf: ./testcase/bin/test-float
nemu: HIT BAD TRAP at eip = 0x000300c8
NEMU2 terminated
make[1]: Leaving directory '/home/icspa/teaching/temp_test/pa_code'
```

- PA 2-1提交截止时间待定
- 建议大家先写一些指令，发现在实现过程中不方便的地方，下一次课我们讲解框架代码中和精简指令实现的宏的有关内容

但是！

用于精简指令实现的宏

普通实现

会出现大量相似的重复代码

```
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

精简实现

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

同样指令同样的逻辑

一行对应一条指令的实现

nemu/src/cpu/instr/mov.c

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
// macro for making an instruction entry
#define make_instr_func(name) int name(uint32_t eip, uint8_t opcode)
```

int mov_r2rm_v (uint32_t eip, uint8_t opcode)

```
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
        make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
        // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                int len = 1; \
                concat(decode_data_size_, suffix) \
                concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
                print_asm_2(…); \
                instr_execute_2op(); \
                return len; \
        }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
        // 操作数寻址
        len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
        // 执行mov操作
        operand_read(&r);
        rm.val = r.val;
        operand_write(&rm);
        // 返回操作数长度
        return len;
    }
```

```
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
        make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
         // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                int len = 1; \ // 不变
                concat(decode_data_size_, suffix) \
                concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
                print_asm_2(…); \
                instr_execute_2op(); \
                return len; \
        }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

```
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
        make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
         // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                int len = 1; \ // 不变
                concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size =
data_size;
                concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
                print_asm_2(…); \
                instr_execute_2op(); \
                return len; \
        }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

```
make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
                // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
        make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
         // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                int len = 1; \ // 不变
                concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size =
data_size;
                concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
// 宏展开等于 decode_operand_r2rm
// 下方宏定义 #define decode_operand_r2rm \
//                      len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
                print_asm_2(…); \
                instr_execute_2op(); \
                return len; \
        }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
        // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
    make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
     // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
        int len = 1; \ // 不变
        concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size = data_size;
        concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
// 宏展开等于 decode_operand_r2rm
// 下方宏定义 #define decode_operand_r2rm \
//          len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
        print_asm_2(…); \ // 单步执行打印调试信息，  不变
        instr_execute_2op(); \
        return len; \
    }
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
        make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
          // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                int len = 1; \ // 不变
                concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size =
data_size;
                concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
// 宏展开等于 decode_operand_r2rm
// 下方宏定义 #define decode_operand_r2rm \
//                     len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
                print_asm_2(…); \  // 单步执行打印调试信息，  不变
                instr_execute_2op(); \  //调用执行函数
                return len; \
        }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
  }
```

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
                    make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
                     // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                                 int len = 1; \ // 不变
                                 concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size = data_size;
                                 concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2,
dest_type)) \
// 宏展开等于 decode_operand_r2rm
// 下方宏定义 #define decode_operand_r2rm \
//                          len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
                                 print_asm_2(…); \  // 单步执行打印调试信息，不变
                                 instr_execute_2op(); \  //调用执行函数
                                 return len; \
                    }
```

```
        // 指定操作数长度
        rm.data_size = r.data_size = data_size;
        int len = 1;
        // 操作数寻址
        len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
        // 执行mov操作
        operand_read(&r);
        rm.val = r.val;
        operand_write(&rm);
        // 返回操作数长度
        return len;
}
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

Static关键字很关键!

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
// macro for generating the implementation of an instruction with two operands
#define make_instr_impl_2op(inst_name, src_type, dest_type, suffix) \
            // 等于  make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
          make_instr_func(concat7(inst_name, _, src_type, 2, dest_type, _, suffix)) {\
           // 宏展开等于  make_instr_func(mov_ r2rm_v) {
                    int len = 1; \ // 不变
                    concat(decode_data_size_, suffix) \
// 宏展开等于 decode_data_size_v
// 下方宏定义 #define decode_data_size_v opr_src.data_size = opr_dest.data_size =
data_size;
                    concat3(decode_operand, _, concat3(src_type, 2, dest_type)) \
// 宏展开等于 decode_operand_r2rm
// 下方宏定义 #define decode_operand_r2rm \
//                         len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
                    print_asm_2(…); \  // 单步执行打印调试信息， 不变
                    instr_execute_2op(); \  //调用执行函数
                    return len; \   // 返回指令长度
          }
      operand_write(&rm);
      // 返回操作数长度
      return len;
  }
```

nemu/include/cpu/instr_helper.h

```
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
// 将其进行宏展开后，变为。。。
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```c
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

等价

```c
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
// 将其进行宏展开后，变为。。。
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
        int len = 1;
        opr_src.data_size = opr_dest.data_size = data_size;
        len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
        print_asm_2(…);
        instr_execute_2op();
        return len;
}
```

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

等价

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
// 将其进行宏展开后，变为。。。
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
        int len = 1;
        opr_src.data_size = opr_dest.data_size = data_size;
        len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
        print_asm_2(…);
        instr_execute_2op();
        return len;
}
```

opr_src和opr_dest是定义在operand.c中的两个全局变量

nemu/src/cpu/instr/mov.c

```
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
    OPERAND r, rm;
    // 指定操作数长度
    rm.data_size = r.data_size = data_size;
    int len = 1;
    // 操作数寻址
    len += modrm_r_rm(eip + 1, &r, &rm);
    // 执行mov操作
    operand_read(&r);
    rm.val = r.val;
    operand_write(&rm);
    // 返回操作数长度
    return len;
}
```

等价

modrm系列函数看Guide的描述

```
#include "cpu/instr.h"

static void instr_execute_2op() {
        operand_read(&opr_src);
        opr_dest.val = opr_src.val;
        operand_write(&opr_dest);
}

make_instr_impl_2op(mov, r, rm, v)
// 将其进行宏展开后，变为。。。
make_instr_func(mov_r2rm_v) {
        int len = 1;
        opr_src.data_size = opr_dest.data_size = data_size;
        len += modrm_r_rm(eip + 1, &opr_src, &opr_dest);
        print_asm_2(…);
        instr_execute_2op();
        return len;
}
```

PA 2-1 结束

PA 2-1截止时间2021年10月 日24时