目 录

1 项目背景

1.1 先验知识

本次个人选题内容题目为记分牌算法仿真器。

记分牌算法指令执行共有四个阶段，分别是流出(issue)、读操作数（Read operands）、执行（Execution）和写回（Write Result）。

流出(issue):如果当前流出指令所需的功能部件空闲，并且所有其他正在执行的指令的目的寄存器与该指令的不同，记分牌就向该功能部件流出该指令，并修改记分牌内部的记录表。流出阶段可以消除指令执行过程中存在的结构冲突和写后写冲突。

Algorithm 1 Issue

Input: Operation to perform in the unit Op, Destination register number D Source-register numbers $S1, S2$, Functional Unit FU

```
1: function issue(Op, D, S1, S2)
2:     wait until (!Busy[FU] AND !Result[D]);
3:     Busy[FU] ← yes;
4:     Op[FU] ← op;
5:     Fi[FU] ← D;
6:     Fj[FU] ← S1;
7:     Fk[FU] ← S2;
8:     Qj[FU] ← Result[S1];
9:     Qk[FU] ← Result[S2];
10:    Rj[FU] ← Qj[FU] == 0;
11:    Rk[FU] ← Qk[FU] == 0;
12:    Result[D] ← FU;
13: end function
```

读操作数（Read operands）：记分牌监测源操作数的可用性，如果数据可用，它就通知功能部件从寄存器中读出源操作数并开始执行。

Algorithm 2 Read operands

Input: Functional Unit FU

```
1: function read_operands(FU)
2:     wait until (Rj[FU] AND Rk[FU]);
3:     Rj[FU] ← no;
4:     Rk[FU] ← no;
5:     Qj[FU] ← 0;
6:     Qk[FU] ← 0;
7: end function
```

执行（Execution）：取到操作数后，功能部件开始执行，当产生出结果后，就通知记分牌它已经完成执行。

Algorithm 3 Execute

Input: Functional Unit *FU*

```
1: function execute(FU)
2:     Execute whatever FU must do
3: end function
```

写结果（Write Result）：记分牌一旦知道执行部件完成了执行，就检测是否存在 WAR 冲突，不存在则写入目的寄存器，并释放其所用的所有资源。写结果阶段可以消除指令执行过程中存在的读后写冲突。

Algorithm 4 Write Result

Input: Functional Unit *FU*

```
1: function write_back(FU)
2:     wait until (∀f((Fj[f]≠Fi[FU] OR Rj[f]=no) & (Fk[f]≠Fi[FU] OR
   Rk[f]=no)))
3:     ∀f(if Qj[F]=FU then Rj[f] ← yes);
4:     ∀f(if Qk[F]=FU then Rk[f] ← yes);
5:     Result[D] ← 0;
6:     Busy[FU] ← no;
7: end function
```

本次算法仿真器的目的是实现指令在记分牌算法执行的实现过程，并且输出在各个周期执行结束后指令状态表、功能部件状态表、结果寄存器状态表的执行结果。

1.2 需求分析

本次记分牌算法的目的是输出各个指令周期的指令状态表、功能部件状态表、结果寄存器状态表，因此在程序设计开始时，对指令状态表、功能部件状态表、结果寄存器状态表进行初始化。

指令状态表、功能部件状态表、结果寄存器状态表的改变都是由于指令的不断执行产生的，而指令执行共有流出、读操作数、执行和写回四个阶段，因此利用算法实现这四个阶段便能够实现记分牌算法。

本次记分牌算法仿真器使用 python 语言实现。

2 设计实现

2.1 状态表设计

算法执行过程中共有指令状态表、功能部件状态表、结果寄存器状态表三个表。

指令状态表：记录正在执行的各条指令已经进入到了哪一段。指令状态表中各指令共有 4 个阶段，输出结果是各个阶段完成后的时钟周期数，因此利用 numpy 方法将指令状态表初始化为 n*4 的二维数组（n 代表指令条数）。

功能部件状态表：记录各个功能部件的状态。每个功能部件有一项，每一项由以下 9 个字段组成:

Busy：忙标志，指出该功能部件正在使用。初值为 no；

Op：该功能部件正在执行或将要执行的操作；

Fi：目的寄存器编号；

Fj，Fk：源寄存器编号；

Qj，Qk：指出向源寄存器 Fj、Fk 写数据的功能部件（即 Fj、Fk 中的数据由它们产生）。

Rj、Rk：标志位，为 yes 表示 Fj、Fk 中的操作数就绪且还未被取走，否则就被置为 no。

功能部件状态表中共有 integer 、mult1、mult2、add 和 divide 五个功能部件，每个功能部件都有 9 个字段，因此将其初始化为第一项为功能部件名，第二项为 no，其余各项都为空的嵌套列表。

结果寄存器状态表：每个寄存器在该表中有一项，用于指出哪个功能部件（编号）将把结果写入该寄存器。如果当前正在运行的指令都不以它为目的寄存器，则其相应项置为 no。Result 各项的初值为 no（全零）。

结果寄存器状态表存储写入各寄存器的功能部件名称，初始化字典数据类型，key 值为寄存器名称，value 值为写入该寄存器的功能部件名称。

2.2 记分牌算法

由于在所有指令未完成之前，程序应一直循环执行，因此采用了 finish_all_instructions 作为指示变量，初始值为 0。只要指令状态表的写回阶段有一条指令未写回，便跳出当前循环。当所有指令都完成后，更改

finish_all_instructions 值为 1，结束循环。

```
if instructions_count == len(instructions):
    for i in range(len(instructions)-1):
        if instructions_status[i][3] == 0:
            finish_all_instructions = 1
            break
        else:
            finish_all_instructions = 0
```

在记分牌算法中需要判断指令是否可以流出，即判断是否存在结构冲突和写后写冲突。

```
if op == 'load': #若确定 load 指令可以流出，在 issue 函数之中无需判断
    if component_status[0][1] == 'no' and register_status[des] == '':
        sign[instructions_count] = 1
        instructions_count += 1
```

2.3 流出阶段

定义函数：issue(run,clock,instructions,instructions_status,component_status, register_status)：

run: 当前正在运行的指令索引。

clock: 当前时钟周期。

instructions: 指令集，每条指令包含操作码（op）、目标寄存器（des）及操作数（on1 和 on2）。

instructions_status: 每条指令的状态。

component_status: 各功能部件的状态。

register_status: 寄存器的状态。

从 instructions 中提取当前指令的操作码（op）、目标寄存器（des）及操作数（on1 和 on2）。

```
op = instructions[run][0]
des = instructions[run][1]
on1 = instructions[run][2]
on2 = instructions[run][3]
```

当使用记分牌算法判断指令可以流出后，根据操作的指令判断操作数是否就绪，即判断存储操作数的寄存器是否被占用，等待其他功能部件的写入。

```
if register_status[on1]: #判断第一个操作数是否就绪
        component_status[1][6] = register_status[on1]
        component_status[1][8] = 'no'
elif register_status[on1] == '':
        component_status[1][8] = 'yes'

if register_status[on2]: #判断第二个操作数是否就绪
        component_status[1][7] = register_status[on2]
        component_status[1][9] = 'no'
elif register_status[on2] == '':
        component_status[1][9] = 'yes'
```

由于 mult 操作对应两个功能部件 mult1 和 mult2，因此设置在 mult 操作中使用标志变量 flag 防止多次分配指令。

2.4 读操作数阶段

定义函数：read_operands(run,clock,instructions,instructions_status, component_status,register_status)

记分牌算法是否可以读取操作数，判断的关键在于两个源操作数寄存器是否就绪，若源操作数寄存器就绪，那么就可以读取操作数，同时将 Qj、Qk 的值设置为空，Rj 和 Rk 的值设置为 no，表示操作数已经读取完成。

当两个源操作数寄存器有一个未就绪或两个都未就绪时，不能进入读操作数阶段，需要等待至两个源操作数寄存器都就绪。

当两个源操作数寄存器都就绪时通过判断操作码，源操作数对功能部件状态表中的 Qj、Qk、Rj、Rk 进行修改。

```
if op == 'load':
        component_status[0][6] = ''
        component_status[0][7] = ''
        component_status[0][8] = 'no'
        component_status[0][9] = 'no'#操作数已经读取完毕
```

2.5 执行阶段

定义函数 def execute(run,clock,instrcutions,instrcutions_status,

component_status,register_status)

不同类型指令的延迟周期用最初定义的数组来接收，由用户从外设输入，有利于满足多种需求。

由于不同的操作具有不同的执行周期，只有当功能部件的周期全部执行结束之后才能向指令状态表当中书写指令周期数，因此设置了 exe_clock 变量来判断指令周期是否结束。

```
if exe_clock:
    exe_clock -= 1
if exe_clock == 0:
    instrcutions_status[run][2] = clock
```

2.6 写回阶段

记分牌算法的写回阶段避免了读后写冲突，因此在指令结果写回目的寄存器之前，需要判断当前指令之前的指令是否需要读取目的寄存器原先的值，若需要，则对当前指令的写回操作进行阻塞，否则则写回。

```
for i in range(run):
    if instructions_status[i][1] == 0 or instructions_status[i][1] == clock:
        if instructions[run][1] == (instructions[i][2] or instructions[i][3]):
            pause = 1
```

同时，对于等待该寄存器的值的操作部件，将其 Qj，Qk 的对应值清除，同时将对应 Rj、Rk 的标志位改为 yes。

2.7 部署运行

系统要求：安装了 python3.7 或更高版本的系统。

代码运行说明：将代码由 GitHub 下载到本地，使用 python3.7 或者更高的版本在项目根目录下运行 main.py 文件。

规定 load 指令的输入为：操作数 目的寄存器 偏移量 基址寄存器

3 程序测试

各指令序列均假设浮点流水线中各部件的延迟为：加法需要 2 个时钟周期；乘法需要 10 个时钟周期；除法需要 40 个时钟周期。

下面对写后写冲突、读后写冲突、写后读冲突逐一测试，由于结构冲突在指令的执行过程中可以展示，此处不做测试。

3.1 写后写冲突

3.1.1 输入指令

add F2 F6 F4

load F2 45 R3

3.1.2 结果展示

```
cycle:1
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          0          0          0
load F2   45   R3    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes        add       F2        F6        F4                            yes       yes
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
           add

cycle:2
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          0          0
load F2   45   R3    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes        add       F2        F6        F4                            yes       yes
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
           add
```

```
cycle:3
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          0          0
load F2   45   R3    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F2        F6        F4                            no        no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
            add

cycle:4
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          0
load F2   45   R3    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F2        F6        F4                            no        no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
            add
```

```
cycle:5
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          5
load F2   45   R3    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10


cycle:6
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          5
load F2   45   R3    6          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes         load      F2                  R3                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
            integer
```

```
cycle:7
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          5
load F2   45   R3    6          7          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F2                  R3                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
           integer

cycle:8
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          5
load F2   45   R3    6          7          8          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F2                  R3                                      no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
           integer
```

```
cycle:9
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
add  F2   F6   F4    1          2          4          5
load F2   45   R3    6          7          8          9
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
```

3.2 读后写冲突

3.2.1 输入指令

load F6 34 R2

load F2 45+ R3

mult F0 F2 F4

divd F10 F0 F6

add F6 F8 F2

3.2.1 **结果展示**（由于周期过长，仅作部分展示）

Cycle1-4：

```
cycle:1
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          0          0          0
load F2   45+  R3    0          0          0          0
mult F0   F2   F4    0          0          0          0
divd F10  F0   F6    0          0          0          0
add  F6   F8   F2    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F6                  R2                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
                                 integer
```

```
cycle:2
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          0          0
load F2   45+  R3    0          0          0          0
mult F0   F2   F4    0          0          0          0
divd F10  F0   F6    0          0          0          0
add  F6   F8   F2    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F6                  R2                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
                                 integer
```

```
cycle:3
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          0
load F2   45+  R3    0          0          0          0
mult F0   F2   F4    0          0          0          0
divd F10  F0   F6    0          0          0          0
add  F6   F8   F2    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F6                  R2                                      no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
                                    integer
```

```
cycle:4
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    0          0          0          0
mult F0   F2   F4    0          0          0          0
divd F10  F0   F6    0          0          0          0
add  F6   F8   F2    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
```

Cycle7-11：

```
cycle:7
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          0
mult F0   F2   F4    6          0          0          0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes        load      F2                  R3                                      no
mult1           yes        mult      F0        F2        F4        integer             no        yes
mult2           no
add             no
divide          yes        divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1       integer                                         divide
```

```
cycle:8
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          0          0          0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           yes         mult      F0        F2        F4                            yes       yes
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            yes       yes
divide          yes         divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1                           add                     divide
```

```
cycle:9
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          0          0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          9          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           yes         mult      F0        F2        F4                            yes       yes
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            yes       yes
divide          yes         divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1                           add                     divide
```

```
cycle:10
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          0          0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          9          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           yes         mult      F0        F2        F4                            no        no
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            no        no
divide          yes         divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1                           add                     divide
```

```
cycle:11
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          0          0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          9          11         0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           yes         mult      F0        F2        F4                            no        no
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            no        no
divide          yes         divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1                               add                     divide
```

Cycle19-22：

```
cycle:19
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         0
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          9          11         0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           yes         mult      F0        F2        F4                            no        no
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            no        no
divide          yes         divd      F10       F0        F6        mult1               no        yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
mult1                               add                     divide
```

```
cycle:20
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         20
divd F10  F0   F6    7          0          0          0
add  F6   F8   F2    8          9          11         0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            no        no
divide          yes         divd      F10       F0        F6                            yes       yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
                                    add                     divide
```

```
cycle:21
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         20
divd F10  F0   F6    7          21         0          0
add  F6   F8   F2    8          9          11         0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F6        F8        F2                            no        no
divide          yes         divd      F10       F0        F6                            yes       yes
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
                                 add                   divide
```

```
cycle:22
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         20
divd F10  F0   F6    7          21         0          0
add  F6   F8   F2    8          9          11         22
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          yes         divd      F10       F0        F6                            no        no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
                                                       divide
```

Cycle 61：

```
cycle:61
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         20
divd F10  F0   F6    7          21         61         0
add  F6   F8   F2    8          9          11         22
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          yes         divd      F10       F0        F6                            no        no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0         F2         F4         F6         F8         F10
                                                       divide
```

Cycle62：

```
cycle:62
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F2   45+  R3    5          6          7          8
mult F0   F2   F4    6          9          19         20
divd F10  F0   F6    7          21         61         62
add  F6   F8   F2    8          9          11         22
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10



进程已结束，退出代码为 0
```

3.3 写后读冲突

3.3.1 输入指令

load F6 34 R2

load F6 45 R3

add F0 F2 F6

3.3.2 结果展示（由于周期过长，仅作部分展示）

Cycle1-2：

```
cycle:1
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          0          0          0
load F6   45   R3    0          0          0          0
add  F0   F2   F6    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes         load      F6                  R2                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
                                    integer

cycle:2
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          0          0
load F6   45   R3    0          0          0          0
add  F0   F2   F6    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称         busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes         load      F6                  R2                                      yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
                                    integer
```

Cycle5-6：

```
cycle:5
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F6   45   R3    5          0          0          0
add  F0   F2   F6    0          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes         load      F6                  R3                                    yes
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
                                    integer

cycle:6
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F6   45   R3    5          6          0          0
add  F0   F2   F6    6          0          0          0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         yes         load      F6                  R3                                    yes
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F0        F2        F6                  integer   yes       no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
add                                 integer
```

Cycle11-12：

```
cycle:11
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F6   45   R3    5          6          7          8
add  F0   F2   F6    6          9          11         0
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             yes         add       F0        F2        F6                            no        no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
add

cycle:12
--------------------指令状态表--------------------
instruction         issue     read     execution     write
load F6   34   R2    1          2          3          4
load F6   45   R3    5          6          7          8
add  F0   F2   F6    6          9          11         12
--------------------功能部件状态表--------------------
部件名称        busy        op        Fi        Fj        Fk        Qj        Qk        Rj        Rk
integer         no
mult1           no
mult2           no
add             no
divide          no
--------------------寄存器状态表--------------------
F0          F2          F4          F6          F8          F10
```

4 总结

4.1 技术难点及解决方法

4.1.1 如何判断指令执行结束

指令的执行是循环，因此对整个过程设置 finish_all_instructions 标志，当最后一条指令的写回状态被标记时，代表所有指令执行完毕，循环可以结束，将 finish_all_instructions 的值修改为 0。

4.1.2 状态表初始化

指令状态表是各指令完成不同指令阶段的时钟周期数，且各指令都有四个阶段，因此将指令状态表初始化为初始值均为 0 的 n*4 的二维数组。

功能部件状态表是对各功能部件状态的说明，将其初始化为一个二维列表，列表第一项是部件名称，第二项是 no，其余各项均使用空白字符。

寄存器状态表是一个寄存器对应一个要写入寄存器的功能部件，因此将其初始化为一个字典类型的数据，字典的键是寄存器名称，字典的值是要写入寄存器的功能部件的名称。

4.1.3 如何对不同的指令类型操作

不同的指令将在五个功能部件中执行操作，因此采用了将指令的输入格式设置成为二维数组的表示性质，通过提取 instructions[n][0]的值，判断指令的类型，从而通过 if 的条件判断将指令做对应的处理。

4.1.4 如何使得写回之后后续指令不在同一周期内读操作数

代码的最初版本我采用了 if op == “load”:

elif op == “mult”:

elif op == “add” or op == “sub”:

elif op == “mult”:

这种方式导致第二条指令写回之后，第三条和第四条指令在同一周期内读取操作数，这显然是不正确的。

由于指令都是顺序流出，在一个循环当中便利所有指令定会导致数据混乱，因此我对代码做了改进，让每条指令的 issue、Read operands、Execution、Write Result 都分别在循环中进行，即在第一个循环中便利所有指令的流出阶段，在第二个循环中便利所有指令的读操作数阶段，在第三个循环中便利所有指令的执行

阶段，在第四个循环中便利所有指令的写回阶段。

这样便可避免上述问题。

4.2 反思

一、在本次仿真器实现的过程中，存在的问题是代码过于冗杂，导致代码行数较多，结构不清晰。在后续的学习过程中，对于 python 语言的学习应该多学习一些方法，提高代码的清晰度与简洁性。

二、编程过程中出现了较多语法错误，之后应该加强编程练习，提高编程水平。

4.3 参考资料

1.《计算机系统结构教程（第二版）》张晨曦、王志英等编著
2.《计算机系统结构·量化研究方法（第五版）》 [美] John L. Hennessy / [美] David A. Patterson
3.https://www.bilibili.com/video/BV1JM4y1f7UP/?spm_id_from=333.337.search-card.all.click&vd_source=1ea1cfd050e4291eab85725e09810e88
4.https://www.bilibili.com/video/BV1Ns421T7dX/?spm_id_from=333.337.search-card.all.click&vd_source=1ea1cfd050e4291eab85725e09810e88