《计算机系统结构》

使用 MIPS 指令实现冒泡排序法

学院：计算机学院（国家示范性软件学院）

班级：2018211314

姓名：李志毅

学号：2018211582

实验四 使用 MIPS 指令实现冒泡排序法

一、实验目的

（1）掌握静态调度方法

（2）增强汇编语言编程能力

（3）学会使用模拟器中的定向功能进行优化

二、实验环境

指令级和和流水线操作级模拟器 MIPSsim

三、实验原理

冒泡排序算法的运作如下：

①比较相邻的元素。如果第一个比第二个大，就交换他们两个。

②对每一对相邻元素作同样的工作，从开始第一对到结尾的最后一对。在这一点， 最后的元素应该会是最大的数。

③针对所有的元素重复以上的步骤，除了最后一个。

④持续每次对越来越少的元素重复上面的步骤，直到没有任何一对数字需要比较。

采用静态调度方法重排指令的顺序，从而使得 RAW 等冲突所导致的空操作得以利用，减少因为 RAW 等冲突而占用的无用周期，可以通过将不想关指令前移等方式来进行静态调度优化。

四、冒泡排序代码清单及注释说明

```
.text

main:

ADDIU $r1, $r0, 15 #保存数组大小
```

```
ADDIU $r2, $r0, 14 #外循环计数 i

LOOP1: #外循环

ADDIU $r3, $r0, array #数组 array

ADDIU $r4, $r0, 0 #内循环计数 j

LOOP2: #内循环

LW $r5, 0($r3) # array[j]

LW $r6, 4($r3) # array[j+1]

DSUB $r7, $r5, $r6 #array[j] - array[j+1]

BLTZ $r7, bk #若 array[j] < array[j+1],则跳转到 bk

SW $r6, 0($r3) #若 array[j] > array[j+1],则交换位置

SW $r5, 4($r3)

bk:

ADDIU $r4, $r4, 1 #j=j+1

ADDIU $r3, $r3, 4 #下一个数

DSUB $r8, $r2, $r4 #i - j

BGTZ $r8, LOOP2

ADDIU $r2, $r2, -1 #i=i-1

BGTZ $r2, LOOP1 #i > 0 继续外循环

TEQ $r0, $r0 #End

.data

array:

.word 7,34,8,22,28,49,25,44,35,14,11,4,42,3,2
```

五、优化后的代码清单

```
.text

main:

ADDIU $r1, $r0, 15 #保存数组大小

ADDIU $r2, $r0, 14 #外循环计数 i

LOOP1: #外循环

ADDIU $r3, $r0, array #数组 array

ADDIU $r4, $r0, 0 #内循环计数 j

LOOP2: #内循环

LW $r5, 0($r3) # array[j]

LW $r6, 4($r3) # array[j+1]

ADDIU $r4, $r4, 1 #j=j+1

DSUB $r7, $r5, $r6 #array[j] - array[j+1]

DSUB $r8, $r2, $r4 #i - j

BLTZ $r7, bk #若 array[j] < array[j+1],则跳转到 bk

SW $r6, 0($r3) #若 array[j] > array[j+1],则交换位置

SW $r5, 4($r3)

bk:

ADDIU $r3, $r3, 4 #下一个数

BGTZ $r8, LOOP2

ADDIU $r2, $r2, -1 #i=i-1

BGTZ $r2, LOOP1 #i > 0 继续外循环

TEQ $r0, $r0 #End

.data

array:
```

```
    .word 7,34,8,22,28,49,25,44,35,14,11,4,42,3,2
```

六、实验步骤

1. 自行编写一个实现冒泡排序的汇编程序，该程序要求可以实现对一维整数数组进行冒泡排序。

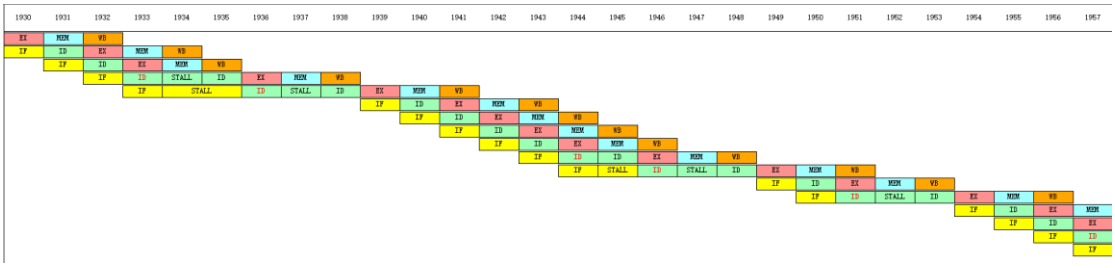
要求数组长度不得小于 10

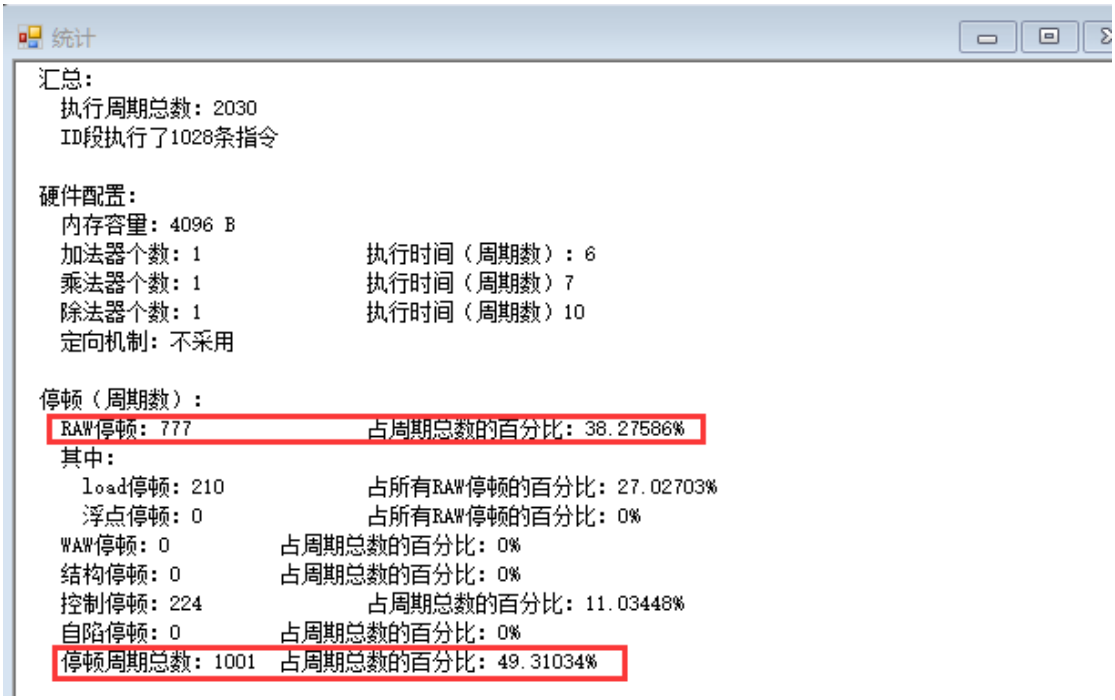
源代码见附录

2.启动 MIPSsim

3. 载入自己编写的程序，观察流水线输出结果

流水线的部分执行情况：



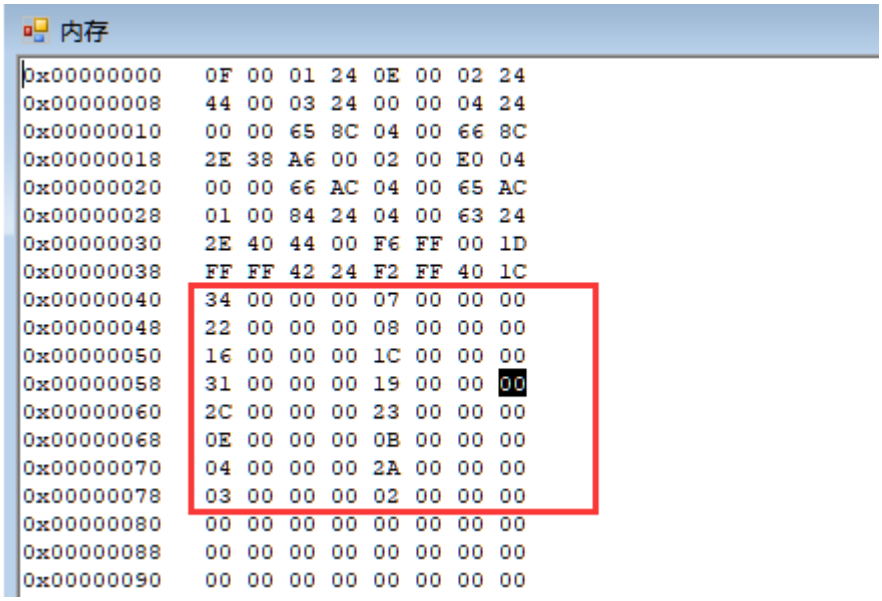


```
分支指令：
  指令条数：224              占指令总数的百分比：21.78988%
  其中：
    分支成功：145            占分支指令数的百分比：64.73214%
    分支失败：79             占分支指令数的百分比：35.26786%

load/store指令：
  指令条数：338              占指令总数的百分比：32.87938%
  其中：
    load：210          占load/store指令数的百分比：62.13018%
    store：128                 占load/store指令数的百分比：37.86982%

浮点指令：
  指令条数：0          占指令总数的百分比：0%
  其中：
    加法：0            占浮点指令数的百分比：0%
    乘法：0            占浮点指令数的百分比：0%
    除法：0            占浮点指令数的百分比：0%

自陷指令：
  指令条数：1          占指令总数的百分比：0.09727626%
```

程序计算的是 7,34,8,22,28,49,25,44,35,14,11,4,42,3,2 的冒泡排序结果

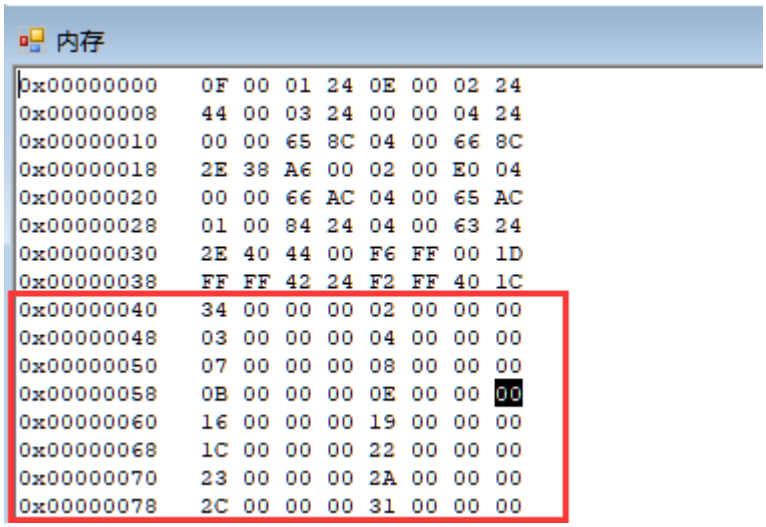
程序执行 **2030** 个周期，其中 RAW 冲突占用 **777** 个周期，占比 **38.27586%**

程序执行前未排序的数组：



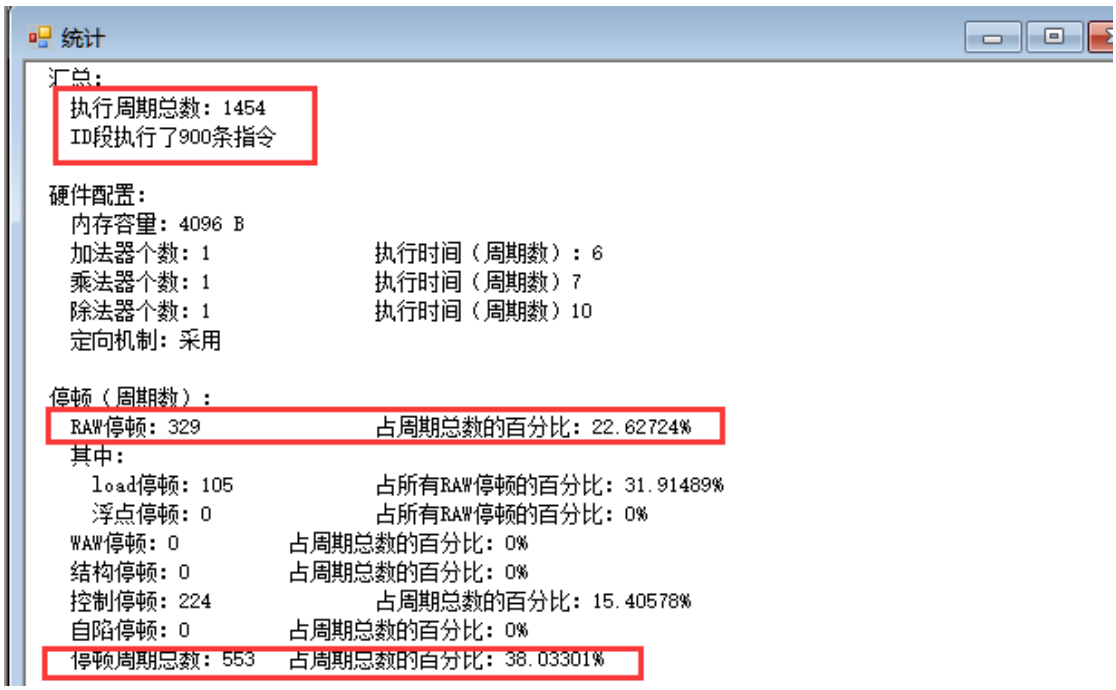
可以看到 7,34,8,22,28,49,25,44,35,14,11,4,42,3,2 依次存储在内存中

程序执行后排序后的数组：



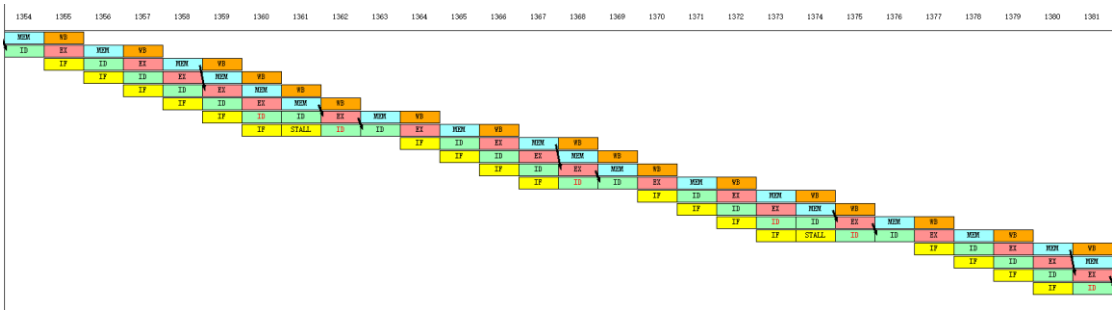
排序后的数组为 2,3,4,7,8,11,14,22,25,28,34,35,42,44,49

4. 使用定向功能再次执行代码，与刚才执行结果进行比较，观察执行效率的不同。



```
分支指令：
  指令条数：224                占指令总数的百分比：24.88889%
  其中：
    分支成功：209              占分支指令数的百分比：93.30357%
    分支失败：15               占分支指令数的百分比：6.696429%

load/store指令：
  指令条数：210                占指令总数的百分比：23.33333%
  其中：
    load：210          占load/store指令数的百分比：100%
    store：0           占load/store指令数的百分比：0%

浮点指令：
  指令条数：0          占指令总数的百分比：0%
  其中：
    加法：0            占浮点指令数的百分比：0%
    乘法：0            占浮点指令数的百分比：0%
    除法：0            占浮点指令数的百分比：0%

自陷指令：
  指令条数：1          占指令总数的百分比：0.1111111%
```

可以看到，采用定向技术后，执行总周期数变为 **1454**，其中 RAW 停顿 **329** 个周期，占比为 **22.62724%**，执行的效率变为原来的 2030/1454=**1.39** 倍



5. 采用静态调度方法重排指令序列，减少相关，优化程序

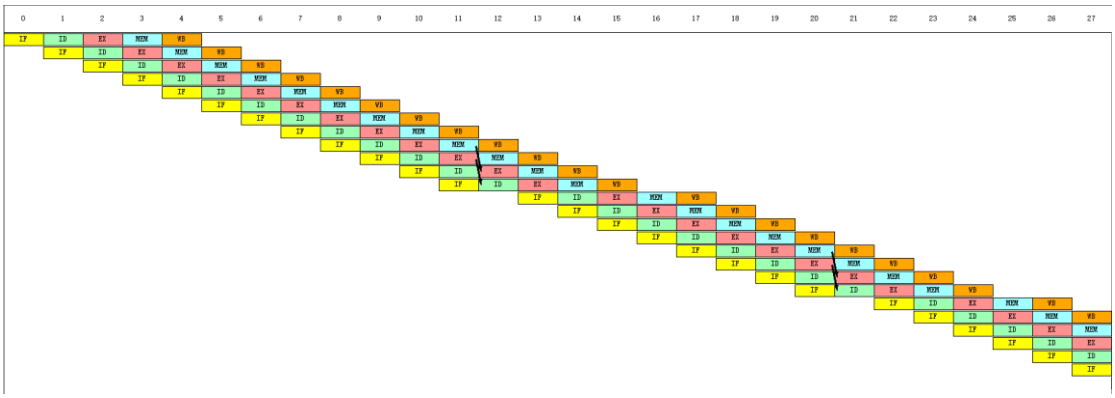
```
main                0x2401000F        ADDIU $r1,$r0,15
0x00000004          0x2402000E        ADDIU $r2,$r0,14
LOOP1               0x24030044        ADDIU $r3,$r0,68
0x0000000C          0x24040000        ADDIU $r4,$r0,0
LOOP2               0x8C650000        LW $r5,0($r3)
0x00000014          0x8C660004        LW $r6,4($r3)
0x00000018          0x00A6382E        DSUB $r7,$r5,$r6
0x0000001C          0x04E00002        BLTZ $r7,bk
0x00000020          0xAC660000        SW $r6,0($r3)
0x00000024          0xAC650004        SW $r5,4($r3)
bk                  0x24840001        ADDIU $r4,$r4,1
0x0000002C          0x24630004        ADDIU $r3,$r3,4
0x00000030          0x0044402E        DSUB $r8,$r2,$r4
0x00000034          0x1D00FFF6        BGTZ $r8,LOOP2
0x00000038          0x2442FFFF        ADDIU $r2,$r2,-1
0x0000003C          0x1C40FFF2  WB    BGTZ $r2,LOOP1
0x00000040          0x00000034  EX    TEQ $r0,$r0
array               0x00000002  ID    SRL $r0,$r0,0
0x00000048          0x00000003  IF    SRA $r0,$r0,0
0x0000004C          0x00000004        SLLV $r0,$r0,$r0
0x00000050          0x00000007        SRAV $r0,$r0,$r0
```

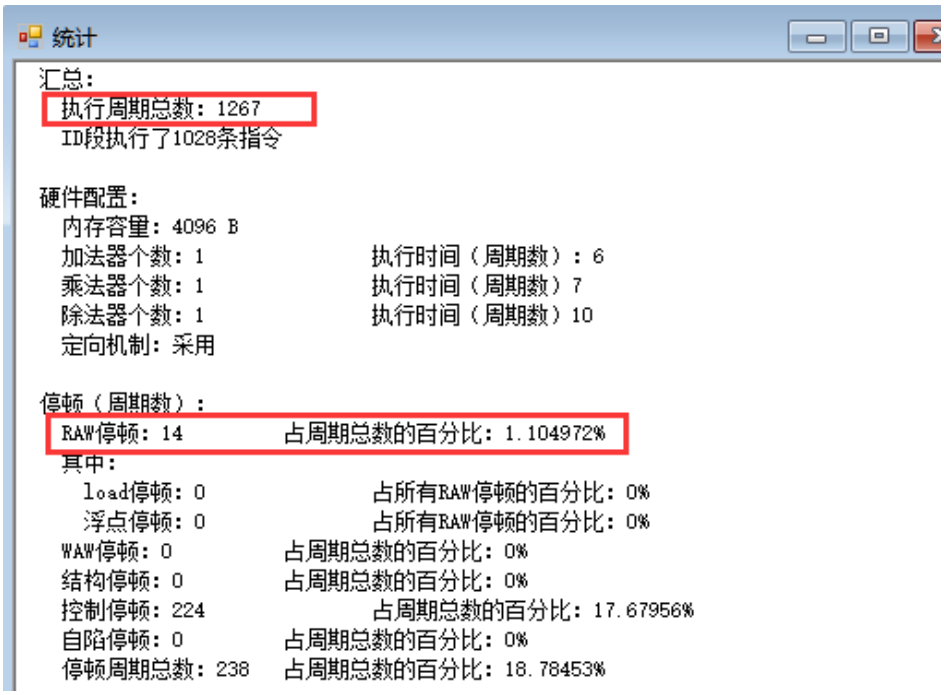
可以看到，LW $r5, 0($r3)指令和 LW $r6, 4($r3)指令和 DSUB $r7, $r5, $r6 和

BLTZ $r7, bk 存在数据冲突，DSUB $r8, $r2, $r4 和 BGTZ $r8, LOOP2 存在数据冲突，将无关指令穿插中再其中，减少 RAW 相关

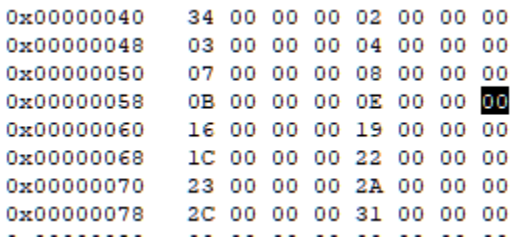
```
LOOP2           0x8C650000      LW $r5,0($r3)
0x00000014      0x8C660004      LW $r6,4($r3)
0x00000018      0x24840001      ADDIU $r4,$r4,1
0x0000001C      0x00A6382E      DSUB $r7,$r5,$r6
0x00000020      0x0044402E      DSUB $r8,$r2,$r4
0x00000024      0x04E00002      BLTZ $r7,bk
0x00000028      0xAC660000      SW $r6,0($r3)
0x0000002C      0xAC650004      SW $r5,4($r3)
bk              0x24630004      ADDIU $r3,$r3,4
0x00000034      0x1D00FFF6      BGTZ $r8,LOOP2
0x00000038      0x2442FFFF      ADDIU $r2,$r2,-1
0x0000003C      0x1C40FFF2      BGTZ $r2,LOOP1
0x00000040      0x00000034      TEQ $r0,$r0
array           0x00000007      SRAV $r0,$r0,$r0
0x00000048      0x00000022      SUB $r0,$r0,$r0
```

6. 对优化后的程序使用定向功能执行，与刚才执行结果进行比较，观察执行效率的不同。





可以看到采用静态调度的方法优化程序，并使用定向功能后，执行总周期数为 **1267**，RAW 停顿为 **14**，停顿数明显减少，效率变为原来的 1454/1267=**1.1476** 倍。执行结果也正确。



七、实验问题与心得

本次实验使用指令级和流水线操作级模拟器 MIPSsim 分析了冒泡排序程序优化的过程，加深了我对于计算机流水线基本概念的理解，理解了 MIPS 结构是如何使用 5 段流水线来实现的，理解了各段的功能和基本操作，加深了我对数据冲突和结构冲突的理解，以及采用定向技术解决数据冲突带来的好处和性能的提升，进一步掌握了解决数据冲突的方法，掌握了如何应用定向技术来减少数据冲突引起的停顿，增强汇编语言编程能力，了解了对代码进行优化的方法。